

博士論文

ホログラフィー応用の事業化開発とその要因
-起業実践を通じた光産業創成の追究-

平成21年9月

光産業創成大学院大学

池田 貴裕

要旨

ホログラフィー応用の事業化開発とその要因 -起業実践を通じた光産業創成の追究-

本論文では、光産業創成を追求するために、光技術であるホログラフィーに関する研究開発、その応用に関する事業計画、起業実践を通じた事業化開発を行った。事業化とは、継続的に製品を市場に提供できる事業形態を構築することである。事業化に必要な要因として、研究者の立場である技術的要因、経営者の立場である経営的要因、実践者の立場である経験的要因を用いて、本起業実践の形式知化を試みた。その結果、本起業実践において最も重要な事業化要因は、技術的要因と経営的要因である形式知と、経験的要因である暗黙知と密接に関わっている人脈形成であることが分かった。最後に、起業実践を通じて得た経験から、将来の光産業創成に向けて、新産業を自らが実践しうる人材として必要な要因は、事業化に成功した経営者が持つ起業実践哲学であると結論付けた。

本論文は、全4部12章から構成される。

第I部(第1, 2章)では、本研究の大きな枠組みとして、図1に示す光産業創成の仕組みについて述べ、本研究の位置付けについて詳述する。

第II部(第3~5章)では、研究者の立場として、起業実践で活用する光技術シーズであるホログラフィーと、その表示応用と測定応用に関する研究開発について詳述する。

第III部(第6~10章)では、経営者の立場として、本起業実践の事業化開発の内容とその結果及び、事業化要因を用いた自己分析について詳述する。

第IV部(第11, 12章)では、実践者の立場として、本起業実践で得た教訓と光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について詳述する。

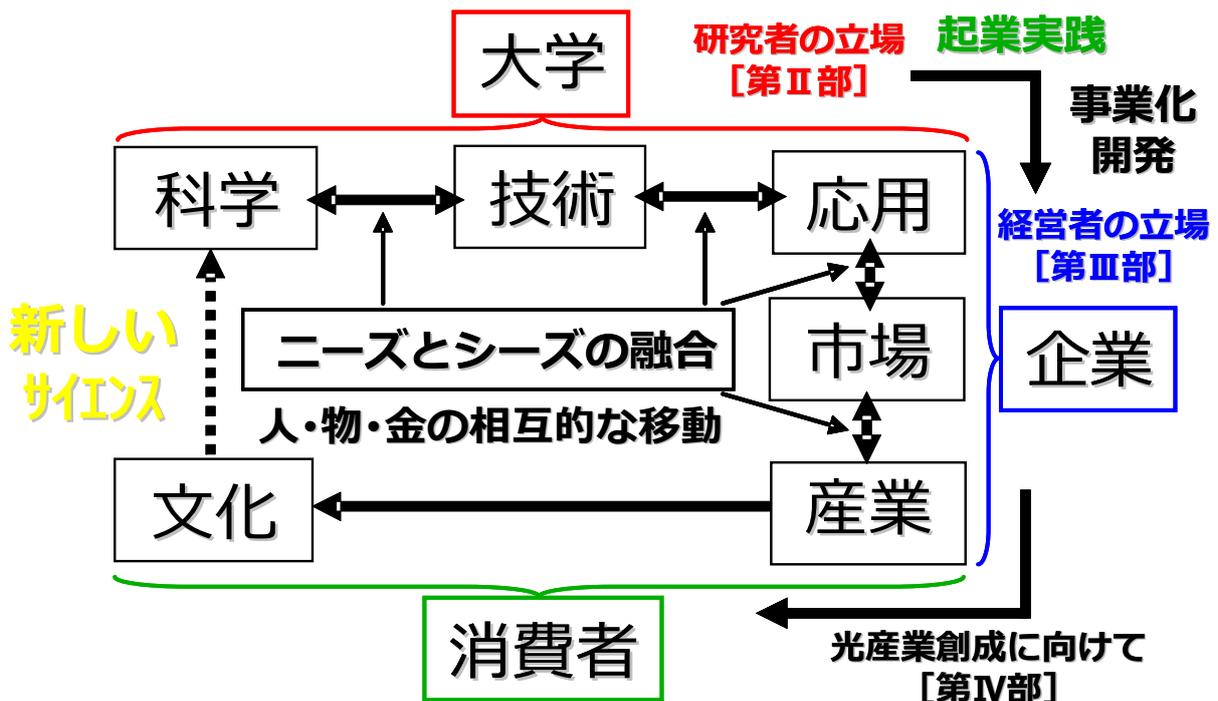


図1. 光産業創成の仕組み

Abstract

Development and factors of the technology commercialization on holography application - Investigation of creating new photonics industries through business practice -

This thesis describes the research and development of holography, the business planning and the technology commercialization development through business practice for investigation of creating new photonics industries. The technology commercialization is to construct the business scheme which can provide products to a market continuously. The explicit knowledge in business practice by my own activities was tried by using the technical factors in the researcher position, the management factors in the manager position and the experimental factors in the practical position as the technology commercialization factors. As the result, formation of personal connections was the most important factor in the technology commercialization factors on my business practice, because it is closely connected with technical and management factors regarding the explicit knowledge of technology and the experimental factors regarding the tacit knowledge of experience. Finally, in my own experience, it is conclusion that the business practical philosophy of success manager is essential to create new photonics industries for the future.

The thesis is composed of four categories. The first category (Chapters 1 and 2) presents the mechanism of creating new photonics industries as shown in Figure 1 and describes the purpose of this study. The second category (Chapters 3 to 5) describes the research and development on holography and its application of display and measurement in the researcher position. The third category (Chapters 6 to 10) describes the contents and result of technology commercialization development, and the analysis using technology commercialization factors in the manager position. Finally, the fourth category (Chapters 11 and 12) describes the lessons learned at my activities and the business practical philosophy to create new photonics industries in the practical manager position.

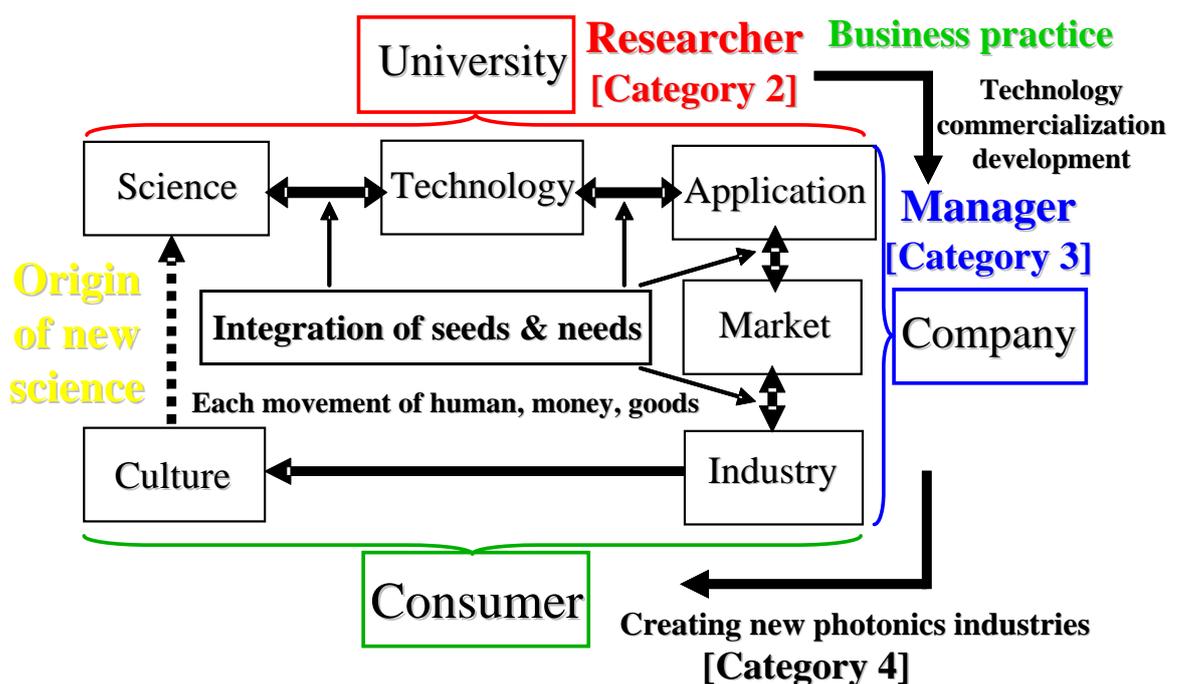


Figure 1. Mechanism of creating new photonics industries

博士論文

ホログラフィー応用の事業化開発とその要因
-起業実践を通じた光産業創成の追究-

平成21年9月

光産業創成大学院大学

池田 貴裕

目次

第Ⅰ部 緒論編：光産業創成とは？	1
第1章 緒論	3
1-1 本研究の背景	3
1-2 本研究の目的と概要	3
1-3 本論文の構成	4
第2章 光産業創成	7
2-1 光産業創成の仕組み：ニーズとシーズの融合	7
2-2 起業実践の意義：暗黙知と形式知	8
2-3 本研究の位置付け	10
第Ⅱ部 光技術シーズ編：研究者の立場	11
第3章 ホログラフィーの基礎	13
3-1 ホログラムとホログラフィー	13
3-2 ホログラムの作成と再生	13
3-2-1 アナログホログラムの作成と再生	14
3-2-2 デジタルホログラムの作成	15
3-2-3 デジタルホログラムの再生	17
3-3 まとめ	18
第4章 ホログラフィーの表示応用	19
4-1 背景と目的	19
4-2 三次元表示方式の流れ	19
4-2-1 二画面方式	20
4-2-2 多画面方式	21
4-2-3 超多眼方式	21
4-2-4 ホログラフィー方式	23
4-3 静止画ホログラフィー	23
4-3-1 ホログラフィックプリンター	23
4-4 動画ホログラフィー	25
4-4-1 計算機ホログラムの作成と再生	25
4-4-2 HZPとSSB法を用いた計算機ホログラムの作成と再生	26
4-4-3 計算機ホログラムの再生像	28
4-4-4 ホログラムゴーグル	28
4-5 まとめ	31

第5章	ホログラフィーの測定応用	33
5-1	背景と目的	33
5-2	定量位相イメージング技術	34
5-3	定量位相顕微鏡	36
5-4	定量位相顕微鏡による血球細胞測定	37
5-4-1	血球細胞の形態変化	37
5-4-2	白血球の遊走運動	38
5-4-3	赤血球の溶血現象	38
5-5	電氣的フィードバック系により安定化された定量位相顕微鏡	39
5-6	コモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡	41
5-7	電氣的フィードバック系とコモンパス光学系の性能比較	42
5-8	まとめ	42
第Ⅲ部	起業実践編：経営者の立場	45
第6章	パイフォトニクス株式会社の概要	47
6-1	設立経緯	47
6-2	会社概要	49
6-3	企業理念	50
6-4	代表者経歴	51
6-5	会社沿革	52
6-6	会社所在地	52
6-7	組織体制	53
6-8	事業内容	54
6-9	外部発表	54
6-10	まとめ	54
第7章	測定機器の事業化開発	57
7-1	背景と目的	57
7-2	事業内容と事業計画	58
7-3	定量位相顕微鏡を用いたガラス材料の測定事例	58
7-3-1	屈折率分布測定	59
7-3-2	表面形状測定	59
7-3-3	応力分布測定	60
7-3-4	受託測定事例	60
7-4	定量位相顕微鏡システム	61
7-4-1	定量位相顕微鏡システムの構成	61
7-4-2	定量位相イメージングユニット	62

7-4-3	定量位相イメージングソフトウェア	63
7-5	定量位相顕微鏡システムの基本特性	64
7-5-1	定量位相顕微鏡システムの静的特性	64
7-5-2	赤血球の厚みと体積値の動的測定	64
7-6	定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡	65
7-6-1	全体構成	65
7-6-2	定量位相画像取得系	65
7-6-3	明視野像取得系	66
7-6-4	好中球の明視野像と定量位相画像の同時観察	67
7-6-5	好中球の開口放出現象の定量位相画像を用いた解析	68
7-7	広告宣伝による市場開拓	69
7-7-1	学会発表	69
7-7-2	展示会出展	70
7-7-3	新聞記事掲載	73
7-8	知的財産権	74
7-9	まとめ	75

第8章 照明機器の事業化開発 76

8-1	背景と目的	76
8-2	事業内容と事業計画	77
8-3	ホロライトの開発	78
8-3-1	ホログラムの理想的な照明条件と基礎実験	78
8-3-2	ホロライトの試作、改良、製品化の流れ	79
8-4	ホロライトの製品紹介	81
8-4-1	ホロライトの種類	83
	(1) 標準型	83
	(2) ライン照明型	84
	(3) 集光照明型	85
8-4-2	ホロライトの形態	85
	(1) 直列接続型	85
	(2) 並列接続型	86
8-4-3	ホロライトの機能	88
	(1) 乾電池対応	88
	(2) 光量可変	88
	(3) 光量均一	89
	(4) 線形偏光	89
8-5	ホロライトの応用	90

8-5-1	ホログラム再生応用	90
	(1) アナログホログラム再生用	90
	(2) デジタルホログラム再生用	91
8-5-2	検査応用	92
	(1) 目視検査用	92
	(2) 自動検査用	92
8-5-3	演出応用	93
	(1) 展示会用	93
	(2) 屋外イベント用	95
8-6	広告宣伝による市場開拓	98
8-6-1	記事執筆	98
8-6-2	展示会出展	98
8-6-3	新聞記事掲載	108
8-7	知的財産権	108
8-8	まとめ	109
第9章	パイフォニクス株式会社の事業結果	111
9-1	販売実績	111
9-2	売上高と収入	112
9-3	収入とキャッシュフローと純資産	113
9-4	事業結果	113
9-5	まとめ	113
第10章	事業化要因を用いた起業実践の自己分析	114
10-1	事業化要因	114
	10-1-1 技術的要因	114
	10-1-2 経営的要因	114
	10-1-3 経験的要因	114
10-2	資金調達を選択と結果	115
	10-2-1 助成補助事業の活用と結果	115
	10-2-2 融資の選択と結果	116
	10-2-3 増資の選択と結果	117
10-3	起業実践の自己分析	119
	10-3-1 測定機器の事業進展	119
	10-3-2 照明機器の事業進展	120
	10-3-3 測定機器と照明機器の事業化に関する自己分析と両者の比較	121
10-4	本起業実践における重要な事業化要因	122
10-5	まとめ	123

第IV部 結論編：光産業創成に向けて	1 2 5
第1 1章 光産業創成に向けて	1 2 7
1 1-1 起業実践で得た教訓	1 2 7
(1) 法人設立は子供を産んだこと	1 2 7
(2) サラリーマン根性を無くすこと	1 2 7
(3) 自分を信じること	1 2 7
(4) 時には恥を捨て馬鹿になること	1 2 7
(5) 夢、哲学、守るべきモノを持つこと	1 2 7
1 1-2 起業実践哲学	1 2 8
第1 2章 結論	1 2 9
1 2-1 総括	1 2 9
1 2-1-1 第I部「光産業創成とは？」の総括	1 2 9
1 2-1-2 第II部「研究者の立場」の総括	1 2 9
1 2-1-3 第III部「経営者の立場」の総括	1 3 0
1 2-1-4 第IV部「光産業創成に向けて」の総括	1 3 1
1 2-2 結論	1 3 1
参考文献	1 3 2
図表記事一覧	1 3 5
業績目録	1 4 0
1. 査読付論文	1 4 0
2. 外部発表	1 4 0
3. 競争的資金	1 4 1
4. 執筆記事	1 4 1
5. 受賞	1 4 1
付録	1 4 2
A. 第1期事業報告書と決算報告書	1 4 3
B. 第2期事業報告書と決算報告書	1 4 9

謝辞

第 I 部

緒論編：光産業創成とは？

第 1 章 緒論

本章では、本研究の背景と目的及び、本論文の構成について述べる。

1-1 本研究の背景

光産業創成大学院大学は、浜松ホトニクス株式会社を中心となり 2005 年 4 月、静岡県浜松市にて開学された。本学の特徴は、学生も教員も実際にベンチャー企業を設立し、その起業実践を通じて会社経営に必要な能力を学び、教授する点である。このように、“光技術を中心とした起業”を教学の柱とする他に類を見ない大学である。そして、“光産業創成”の博士学位を授与する世界で唯一の大学でもある。ここで、博士学位となる“光産業創成”は、理学、工学だけではなく、経営学、経済学、さらには、その他の幅広い分野を連携・融合している。このような新しい概念に基づいた大学は、まだ始まったばかりであり、“光産業創成”に関する研究の概念は確立していない。さらには、本学の特徴である“起業実践”を形式化する手法も確立していない。このように、全く新しい概念に基づいて設立された大学の学生として、本研究を進めるに際して、一つの信念を得るきっかけとなったのが、光産業創成大学院大学学則の第 1 条である。下記にその内容を示す。

光産業創成大学院大学学則 第 1 条（目的）

「光産業創成大学院大学は、光と生命体、物質、情報等とのかかわりに関する学理と知見を基礎に置きつつ、光の発生、変換・制御、利用に関する最先端技術を駆使し、光の各種機能を連携・融合、さらにそれらの技術と経営の融合に関する研究開発を教授研究し、その深奥をきわめ、新産業を自ら実践しうる人材養成を行うことを目的とする。」

この学則から、光産業創成大学院大学における研究活動に必要な要素として、以下の 3 つを抽出した。

要素 1) 技術開発：異なる研究分野と光技術との連携と融合により新技術の開発を行う。

要素 2) 事業計画：開発した技術と経営を融合し、事業計画を行う。

要素 3) 起業実践：自らの起業実践を通じて「新産業を自らが実践しうる人材」となる。

この要素 3 である起業実践は、光産業創成大学院大学の最も特徴的な内容である。この「新産業を自らが実践しうる人材」とは何だろう？という素朴な疑問が、本研究の動機付けとなっている。

1-2 本研究の内容と目的

本研究では光産業創成を追求するために、前節で示した学則から抽出した 3 つの要素を満たすことが重要であると考えた。そこで、各要素を満足するために、各立場に応じた内容について設定した。

内容 1) 研究者の立場：新しい技術開発のために、光技術シーズに関する研究開発を行う。

内容 2) 経営者の立場：新しい事業創出のために、市場ニーズに基づいた計画を行う。

内容 3) 実践者の立場：光産業創成の体系化を目指して、自らの起業実践の形式化を行う。

本論文では、これらの 3 つの内容が存在する。以下の研究の手順について示す。

手順 1) 起業実践で活用する光技術シーズであるホログラフィーに関する研究開発を行う。

手順 2) 起業のためのホログラフィー応用に関する事業計画を行う。

手順 3) 起業実践を通じて測定機器と照明機器の事業化開発を行う。

事業化とは、継続的に市場に製品を提供できる事業形態を構築することである

手順 4) 起業実践の結果について自己分析する。

事業化に必要な要因として、研究者の立場である技術的要因、経営者の立場である経営的要因、実践者の立場である経験的要因を用いて、起業実践の形式知化を試みる。

手順 5) その結果から「新産業を自ら実践しうる人材」として必要な要因について考察する。

以上の内容と手順に従い、本研究の目的を以下のように設定する。

本研究の目的)

光産業創成を追求するために、光産業創成の仕組みについて提案し、新しい光技術シーズの研究開発を行い、その光技術シーズと市場ニーズから事業計画を設定し、自らの起業実践により事業化開発を行い、その結果について自己分析を行い、起業実践の形式知化を行うことにより、「新産業を自ら実践しうる人材」として必要な要因について考察する。

1-3 本研究の構成と概要

本論文は、次の 4 部 12 章で構成されている。

第 I 部は、第 1 章と第 2 章から構成され、本研究の大きな枠組みとして、光産業創成の仕組みについて述べ、本研究の位置付けを明示する。

第 II 部は、第 3 章、第 4 章、第 5 章から構成され、研究者の立場として、起業実践で活用する光技術シーズであるホログラフィーと、その表示応用と測定応用に関する研究開発について述べる。

第 III 部では、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章から構成され、経営者の立場として、本起業実践の事業化開発の内容とその結果及び、事業化要因を用いた自己分析による起業実践の形式知化について詳述する。

第 IV 部では、第 11 章と第 12 章で構成され、実践者の立場として、本起業実践で得た教訓と光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について述べ、新産業を自らが実践しうる人材について考察する。

以下に各章の概要について示す。

第 1 章では、本研究の背景と目的及び、本論文の構成と概要について述べる。

第 2 章では、本研究の背景として、ヒルマ・リングを起源とした光産業創成の仕組みと起業実践の意義について述べ、本研究の位置付けについて詳述する。

第 3 章では、起業実践で活用する光技術シーズであるホログラフィーについて述べる。ホログラフィーの基礎として、ホログラムの作成と再生について述べる。実際に、筆者が行った実験結果を用いて、アナログホログラムとデジタルホログラムの作成と再生について示し、両者について比較する。

第 4 章では、浜松ホトニクス株式会社中央研究所の研究員時代に研究開発したホログラフィーの表示応用について述べる。三次元表示方式の流れについて示し、最も情報量が大きいホログラフィー方式に関する具体的な表示応用として、静止画ホログラフィーはホログラフィックプリンター、動画ホログラフィーはホログラムゴーグルについて述べる。第 8 章で述べる照明機器を開発するきっかけとなっている。

第 5 章では、マサチューセッツ工科大学スペクトロスコーピー研究所の客員研究員時代に研究開発したホログラフィーの測定応用について述べる。光干渉技術であるホログラフィーを用いて、生物細胞を非侵襲且つ非接触で高速高精度に定量情報を測定できる定量位相イメージング技術を倒立顕微鏡に導入した定量位相顕微鏡について詳述する。定量位相顕微鏡を用いて血球細胞の 3 次元構造及び、赤血球溶血時に細胞内部からヘモグロビンが外部へ流出する様子をミリ秒且つナノメートル精度で測定した結果について詳述する。回折格子とピエゾ素子を用いた電氣的フィードバック系の導入による定量位相顕微鏡の安定化、コモンパス干渉光学系の導入による定量位相顕微鏡の安定化を行い、両者の比較を行う。第 7 章で述べる測定機器を開発するきっかけとなっている。

第 6 章では、2006 年 10 月に光産業創成大学院大学内で設立したパイフォトンクス株式会社の設立経緯、2009 年 7 月末時点における会社概要について示す。パイフォトンクス株式会社の会社概要として、企業理念、代表者経歴、会社沿革、会社所在地、組織体制と事業内容について示す。起業実践結果として、外部発表と、起業前に掲載された新聞記事と、それから 2 年後に掲載された起業後の新聞記事について示す。

第 7 章では、定量位相顕微鏡に関する測定機器の事業化開発について述べる。測定機器事業の背景と目的及び、事業内容と計画について述べる。定量位相顕微鏡を用いたガラス材料の受託測定事例について示す。定量位相イメージングユニットの試作、定量位相顕微鏡システムの開発について詳述する。定量位相顕微鏡システムにホロライトを用いた明視野像観察機能を付与した定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いて、好中球の開口放出現象測定について詳述する。さらに、測定機器事業の広告宣伝による市場開拓活動として学会発表、展示会出展、新聞記事掲載の内容について示す。最後に、測定機器事業に関する知的財産権について述べる。

第 8 章では、ホロライトに関する照明機器の事業化開発について述べる。照明機器事業の背景と目的及び、事業内容と計画について述べる。ホロライトの開発内容として、試作、改良、製品化の流れについて述べる。ホロライトの製品紹介として、ホロライトの種類と形態と機能について詳述する。ホロライトの応用として、ホログラム応用、検査応用、演出応用について詳述する。さらに、照明機器事業の広告宣伝による市場開拓活動として、記事執筆、展示会出展、新聞記事掲載の内容について示す。最後に、照明機器事業の知的財産権について示す。

第 9 章では、パイフォトンクス株式会社の事業結果について示す。事業結果として、販売件数と販売実績の比較、売上高と収入とキャッシュフローと純資産の推移、事業報告書と決算報告書について示す。

第 10 章では、事業化要因を用いた起業実践の自己分析について述べる。事業化に必要である事業化要因として、技術的要因と経営的要因と経験的要因について述べる。本起業実践で活用した助成金補助金と融資と増資の選択と結果について、事業化要因を用いて形式知化を試みる。測定機器と照明機器の事業進展について事業化要因を用いて形式知化を試み、両者について比較する。最後に、本起業実践で最も重要であった事業化要因について考察する。

第 11 章では、本起業実践で得た教訓と光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について述べ、光産業創成学における形式知と新産業を自らが実践しうる人材について考察する。

第 12 章では、本論文の総括として各部各章をまとめ、将来の光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」として最も重要な要因について述べ、結論付ける。

第2章 光産業創成

本章では、光産業創成の仕組みと起業実践の意義について述べ、本研究の位置付けを明示する。

2-1 光産業創成の仕組み：ニーズとシーズの融合

浜松ホトニクス株式会社の代表取締役会長兼社長である晝馬輝夫は、新しい技術、新しい市場、新しい産業を生み出す方法として、図2-1に示すヒルマ・リングと命名された新しい産業を生み出す循環モデルを提示している¹。このモデルでは、未知未踏のものを追及することにより新しいサイエンスが生まれ、それを追求していけば、その周辺に新しい技術が生まれ、その技術の応用を考えれば、市場ができ、産業が創出される。ここで、企業や経営者は利益追求だけではなく、新しい市場や産業は、人類に対して新しい生き方や価値観をもたらすという企業の使命感に気づくべきであると、記載されている。このヒルマ・リングが光産業創成大学院大学の設立のきっかけになっていると考えた。

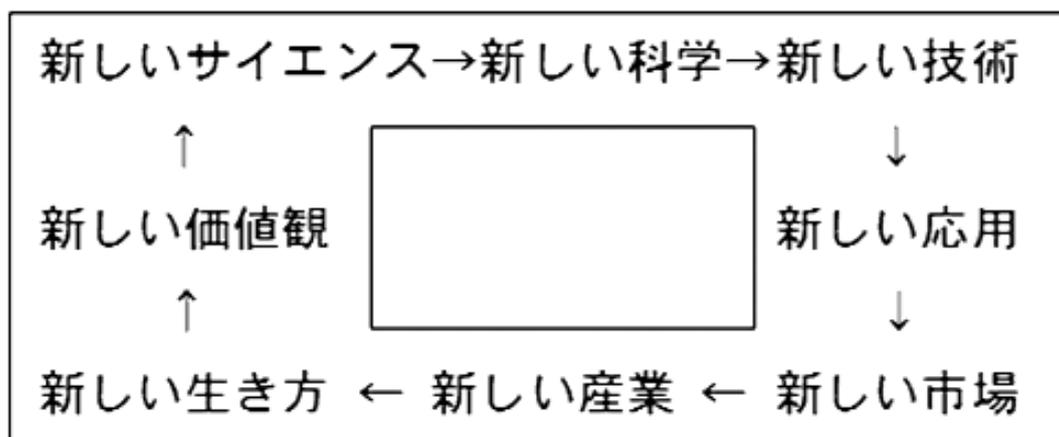


図2-1. ヒルマ・リング

図2-2は、ヒルマ・リングを起源とした光産業創成の仕組みについて示したものである²。光産業創成とは、科学・技術・応用・市場・産業・文化の各立場から構成されるサイクル状の複雑な系（以下、光産業創成サイクル）である。以下に、各立場と従来の大学・企業・消費者の関係について詳述する。

従来の大学は、新しい科学、技術、応用の真理を追求する。企業は、開発された新しい技術を応用して、市場形成、産業創成により利益を追求する。消費者は、新しい産業を通じて新しい文化を創出する。一方、光産業創成大学院大学は従来の大学とは異なり、未知未踏の科学技術の追求から、新しい市場の形成や産業の創成を通じて、消費者に新しい文化をもたらし、さらには、新しいサイエンスを生み出すことにより、光産業創成サイクルを循環させることにより社会全体に貢献する。このように、光産業創成大学院大学は、従来の大学と企業と消費者の全ての観点を網羅することになる。

ここで、各立場の間には「ニーズとシーズ」が存在する。図2-2の科学と技術の立場間には、科学者は新しい技術に役立つ研究を行う。一方、技術者は科学者が発見した新しい科学研究を用いて新しい技術を開発する相互的な関係がある。技術と応用の立場間には、技術者は新しい応用に役立つ技術開発を行う。一方、応用開発者は技術者が発明した新しい技術を用いて新しい応用を開発する相互的な関係がある。応用と市場の立場間には、応用開発者は新しい市場開拓に役立つ応用製品を開発する。一方、市

市場開拓者は新しい応用製品を用いて新しい市場を開拓する相互の関係がある。市場と産業の立場間には、市場開拓者は新しい産業創成のために新しい市場を提供する。一方、産業創成者は新しい市場を集積化して新しい産業を創成する相互の関係がある。そして、産業から文化の立場間には、産業創成者は消費者に新しい生き方や価値観を与える。一方、消費者が新しい文化から得た新しい知識は、新しいサイエンスの起源となると考えられる。

光産業創成サイクルを循環させるために、光産業創成大学院大学の基本精神である「ニーズとシーズの融合」が必要である。「ニーズとシーズの融合」の結果、各立場間において、人・物・金の相互的な移動が発生する。ここで、光産業創成大学院大学の理事長の晝馬輝夫が良く口にする「相手を儲けさせる」というキーワードがある。この言葉の意味合いについて考えた。当事者に存在する関係者のニーズやシーズを満足させるために、関係者に対して人や物や金などの「儲け」（有益となる要因）を与えると、結果的には、当事者にも人や物や金などの「儲け」を得ることになる。例えば、関係者が必要としている技術や部品や情報など（物）を、関係者が満足する費用（金）で提供した場合、当事者は費用と原価の差額に相当する金を得ることができる。さらには、当事者は関係者の信頼（人）を得ることが出来る。このように、光産業創成サイクルを循環させるためには、「ニーズとシーズの融合」を重ねることにより、関係者と共に「儲け」を得ることが重要である。

以上をまとめると、光産業創成サイクルは、各分野の立場に応じた相互的な関係があり、各立場においてニーズとシーズが存在している。そして、光産業創成サイクルの循環には「ニーズとシーズの融合」による人・物・金の相互的な移動より「儲け」を発生させる。光産業創成の基本的使命は、相互的な「儲け」の発生であると考えられる。

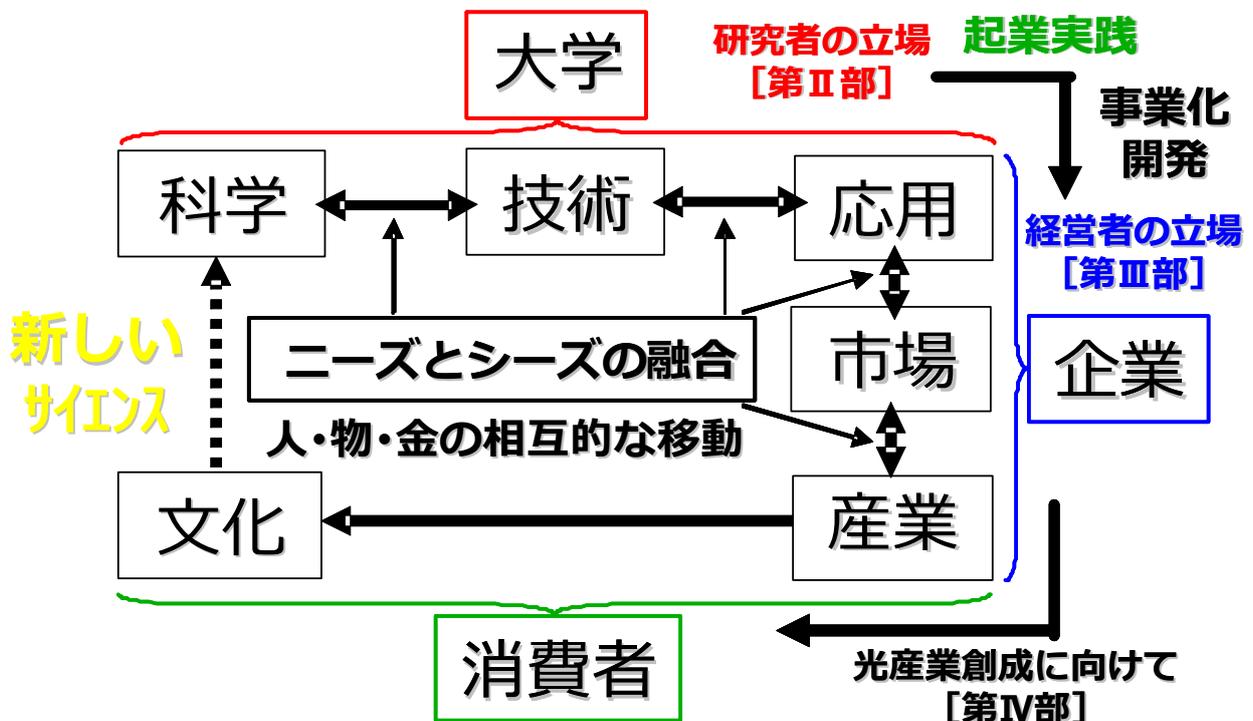


図 2 - 2 . 光産業創成の仕組み

2-2 起業実践の意義：暗黙知と形式知

光産業創成大学院大学のもう一つの基本方針である「起業実践」について詳述する。今までに、江田らは、産業創成学とは、個人の立場から法人の代表になることを通して「利益」を生み出すことを対象とした学問と定義している³。また筆者は、光産業創成学とは、自らが個人の立場から法人の代表になることを通じて「儲け」を生み出すことを対象とした学問と定義している⁴。個人の立場から法人の代表になる「起業実践」は、光産業創成サイクルを循環させるために必要である。

図 2-3 は、起業実践の意義と光産業創成学に関する概念図である。起業実践の意義は、自ら個人の立場から法人の代表になることにより数多くの経験を得ることである。経営者として、会社起業時に経験する会社経営、技術開発、製造管理、資金調達、税務会計、法務契約、広告営業などの数多くの業務と接した経験は暗黙知⁵（潜在的な知識）として、実践者が所有する。このような暗黙知の蓄積は、経営者の勘を養うと同時に自信にもなり、夢に向かって見えない将来へ第一歩を踏み出す勇氣にもなる。そして、暗黙知は形式知（形式的に表現できる知識）と融合することにより、新しい知恵を生み出す。この新しい知恵は、暗黙知でも形式知でもあり、新しいサイエンスを創造する源でもある。このような、暗黙知と形式知の融合が、光産業創成サイクルを進める原動力となり、新たなニーズとシーズの融合を生むことになる。

ここで、光産業創成学における形式知とは、起業実践者が新しい知恵を得ることが出来る知識ではないだろうか？と考えた。そして、光産業創成大学院大学における博士論文は、起業実践により習得した内容を形式的な表現で表した知識であると考えた。以下に実践者の光産業創成大学院大学博士論文からの一編を引用する⁶。これは、自らの起業実践を通じて得た教訓のようなものであると考える。

「光産業創成大学院大学の機能はあくまでも学ぶための環境に過ぎず、光産業創成を具現化する者は、自らの意思で行動する人間である。大学が学生に対して必要な知識や道具を必要に応じて与えるという支援以上のことを行おうと思ったら、それは先を歩く者がその背中を見せることだと考える。」

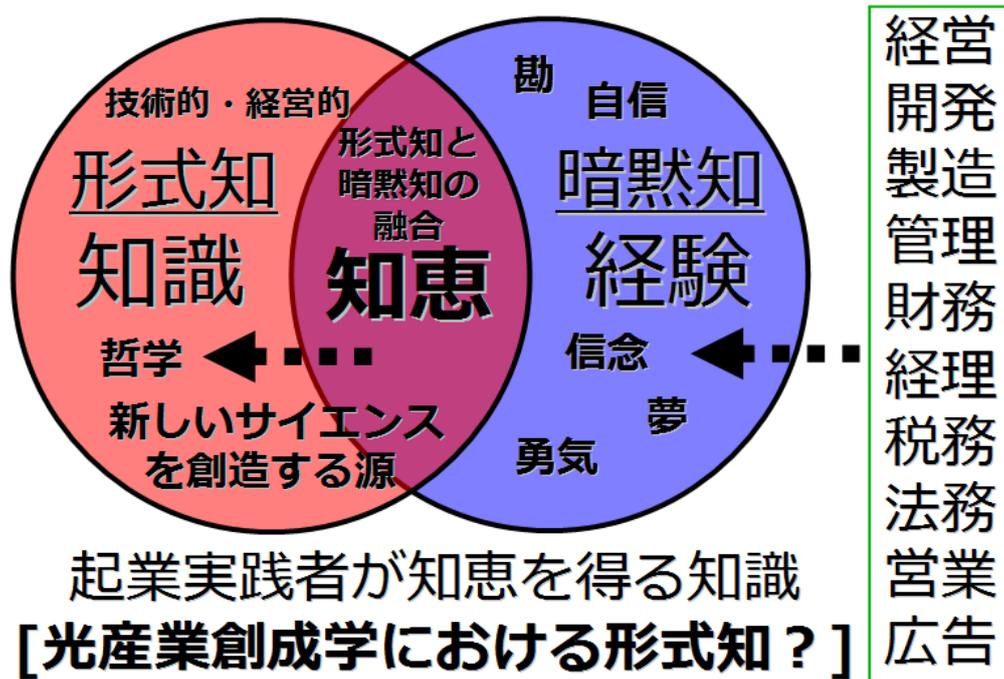


図 2-3. 起業実践の意義と光産業創成学の概念図

2-3 本研究の位置付け

光産業創成大学院大学在学中に光産業創成サイクル全体を循環できるものでない。本論文は、光産業創成サイクルの一部を自らの起業実践の内容に基づきまとめたものである。以下に、本研究の位置付けについて述べる。

図 2-4 は、光産業創成サイクルにおける技術⇔応用⇔市場の内、応用の領域を、さらに細分化し、試作⇔改良⇔製品で表現している。筆者は、光技術であるホログラフィー研究者の立場から、起業によりパイフォトニクス株式会社の経営者の立場となり、測定機器と照明機器の事業化を目指した。ここで、事業化とは、継続的に製品を市場に提供できる事業形態を構築することである。事業化のために、どのようにして、試作品を開発し、改良を重ね、製品化を行い、市場を開拓するのか、実践を通じて様々な模索を行った。その結果として、事業化に必要な要因（以下、事業化要因）として①技術的要因、②経営的要因、③経験的要因の 3 つが存在することが分かってきた。

本研究では、光技術シーズであるホログラフィー応用による製品開発に関する技術的要因と、試作改良のための資金調達、市場ニーズ収集、業界との人脈形成などに関する経営的要因と、起業実践を通じて得られた経験的要因を用いて、起業実践を通じた事業化開発について形式化を試みることにより、自らの起業実践の自己分析を行う。そして、将来の光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」として必要な要因について考察する。

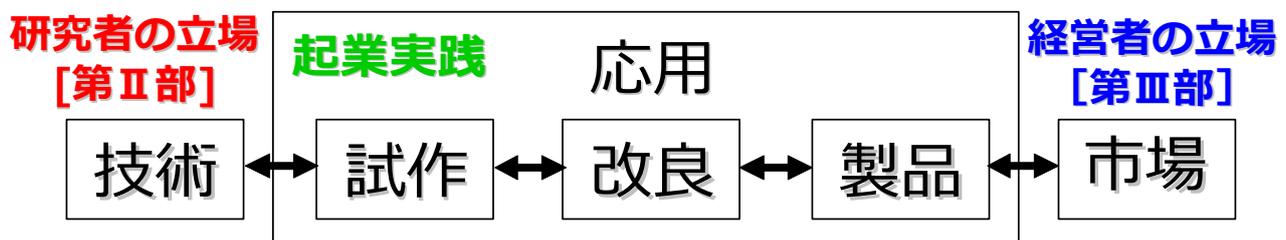


図 2-4. 起業実践を通じた事業化開発

参考文献

- [1] 晝馬輝夫, “「できない」と言わずにやってみろ!”, イースト・プレス (2003).
- [2] 池田貴裕, “起業実践による光産業創成”, 経営情報学会 2008 年春季全国研究発表大会 (2008).
- [3] 江田英雄, 江浦茂, 丸山信人, “知的創造サイクルを推進する産業創成”, 日本知財学会第 5 回年次学術研究発表会要旨集, pp492-495 (2007).
- [4] 池田貴裕, “パイフォトニクス株式会社-起業実践による光産業創成に向けて-”, 浜松メッセ 2008 イノベーションビジネスマッチング配布資料(2008).
- [5] 野中郁次郎, 竹内弘高, “知識創造企業”, 東洋経済新報社 (1996).
- [6] 竹下照夫, “Wavenics 計測による光産業創成, 光産業創成大学院大学 博士論文 第 11 章 (2008).

第Ⅱ部

光技術シリーズ編：研究者の立場

第3章 ホログラフィーの基礎

本章では、起業実践で活用する光技術シーズであるホログラフィーについて述べる。

3-1 ホログラムとホログラフィー

ホログラムとは、光の振幅と位相の情報を干渉縞の形で記録したものであり、そのホログラムを作成する技術をホログラフィーと呼ぶ^{1,2}。ホログラフィーは、1947年にハンガリーの物理学者ガーボルによって発明された³。その後、1960年代にレーザーが発明されたことをきっかけに、ホログラムに関する研究が盛んになった。ホログラムは、膨大な情報量を並列的に記録・再生できるために、超大容量・超高速な入出力媒体として実用化が期待されている^{4,5}。

3-2 ホログラムの作成と再生

本節では、ホログラムの作成方法と再生方法について述べる。

三次元情報が記録されたホログラムの作成方法を図3-1(1)に示す。ホログラムから離れた三次元物体からの物体波と参照波の両方の光が干渉しあって、干渉縞であるホログラム材料が作成される。しかし、ホログラム自体を単純に観察しても微細な縞々が記録されているだけで、何が記録されているのか分からない。以下に、ホログラムの再生と応用例について紹介する。

図3-1(2)に、ホログラムの再生例1を示す。作成されたホログラムに対して、作成時と同等の参照波でホログラムを再生すると、ホログラムから作成時と等しい物体波の再生光が発生する。ここで、位置①でホログラムを観察すると、記録されていた三次元物体を観察することができる。これを応用したものが三次元表示装置(3Dディスプレイ)である。

図3-1(3)に、ホログラムの再生例2を示す。作成されたホログラムに対して、作成時と正反対方向から同等の参照波でホログラムを再生すると、作成時の物体波と正反対方向に伝播する位相共役光が発生する。ここで、位置②で2次元センサなどを用いて、三次元物体の情報を並列的に読み出すことができる。これを応用したものがホログラフィックメモリやホログラフィー顕微鏡である。

図3-1(4)に、ホログラムの再生例3を示す。作成されたホログラムに対して、作成時と同等の物体波でホログラムを再生すると、作成時と等しい参照波が再生される。例えば、少し形状が異なる三次元物体からの物体波で再生した場合、参照波は少し弱まる。また、形状が全く異なる三次元物体からの物体波で再生した場合、参照波は発生しない。ここで、位置③で参照波の強度情報を取得することにより、三次元物体との相関情報を得ることができる。これを応用したものが光相関器である。

このように、同じホログラムでも、再生方法に応じて、様々な応用が存在する。

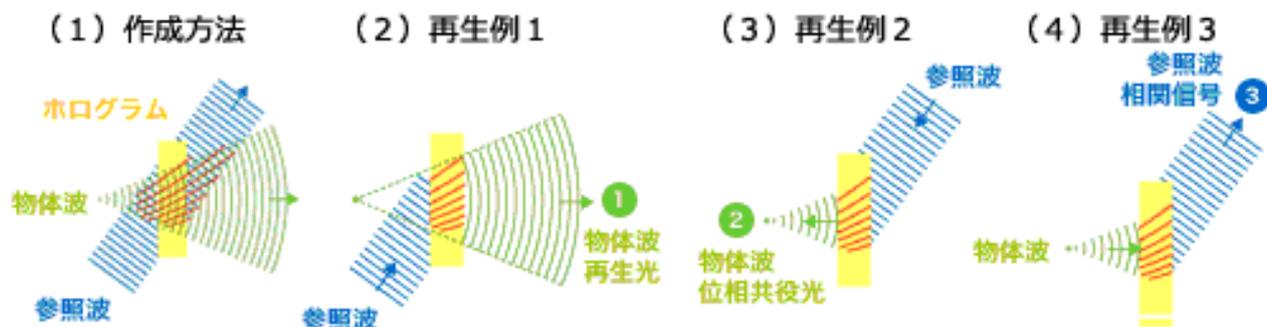


図3-1. ホログラムの作成方法と再生例

3-2-1 アナログホログラムの作成と再生

アナログホログラムの作成と再生について、実際に実験した事例について述べる。

図3-2にアナログホログラムの作成光学系を示す。He-Neレーザー（波長 632.8nm）から出た光は対物レンズで広げられ、ピンホールを通過し、点光源に変換される。点光源からの光は、ホログラムに入射する参照波であるのと同時に、ホログラムを通過して物体で反射され物体波となり、ホログラムに干渉縞を形成する。このホログラムは、連続的な空間光強度情報を記録するために、アナログホログラムと呼ぶ。ここで、ホログラムには5,000本/mm程度の分解能を有するものが好ましい。作成されたホログラムは、現像処理により、干渉縞の強度情報に応じた強度型ホログラムとなる。さらに、漂白処理により位相型ホログラムとなる。ホログラムを図3-2と同じ場所に配置して、参照波としてレーザー光を照射すると、作成時の物体の位置と同じ箇所にホログラム再生像が観察できる。

実際に図3-3の物体（左：硬貨、右：造花）のホログラムを作成した。図3-4は、それらのホログラムの再生像である。物体と乾板の距離が短い方が、ホログラム再生像が鮮明である。理由は、再生像の結像特性がホログラムから離れると共に低下するためである。

次に、アナログホログラムの情報量について検討した。今回、実験で用いたホログラムのサイズは30mm×60mm、分解能は5,000本/mmであると考えると、 $30 \times 60 \times 10000 \times 10000 = 180$ ギガビット相当の情報量となる。さらに、ホログラムに記録されている光強度の階調分の情報量を有することになる。このように、ホログラムは光の並列性により大容量の情報を瞬時に記録することが可能である。

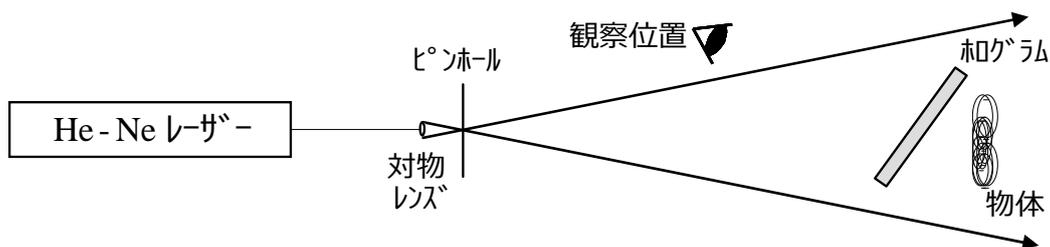


図3-2. アナログホログラム作成光学系



図3-3. 記録物体（硬貨と造花）

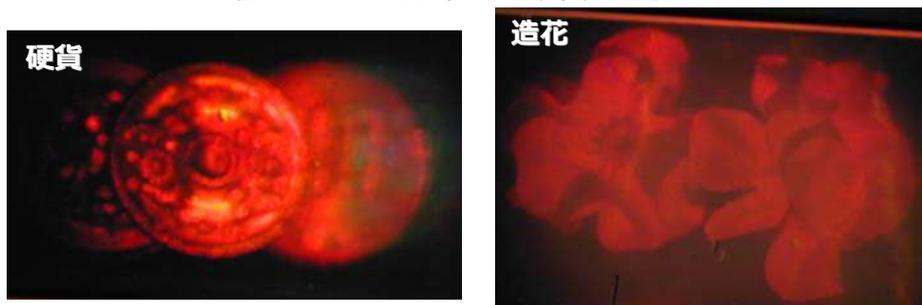


図3-4. アナログホログラム再生像

3-2-2 デジタルホログラムの作成

デジタルホログラムの作成について、実際に実験した事例について述べる。

アナログホログラムは、連続的な空間光強度情報が記録されているのに対して、デジタルホログラムは、CCD素子やCMOS素子などの二次元センサを用いて、離散的な空間光強度情報が記録されている。近年、センサの高解像度化、高精細化、高速化、高感度化により、デジタルホログラムを作成する技術であるデジタルホログラフィーを用いて、高精度な三次元物体の測定が可能である。

図3-5にデジタルホログラム作成光学系を示す。He-Neレーザーから出射された光はハーフミラーで二つに分けられる。ハーフミラーを通過した光は、レンズL3で広げられて測定物体に照明され、その反射光が物体波となり、ビームスプリッターを通過して、512×512画素のCCDカメラ(C3077, 浜松ホトニクス製)に入射する。もう一方のハーフミラーを反射した光は、ビームスプリッターを通過し、ピエゾ素子付きミラー反射して、再びビームスプリッターへ戻り、対物レンズL1方向へ進む。対物レンズとピンホールで広げられた光はレンズL2で平行光となり、ビームスプリッターで反射され、参照波として物体波と重なり合い、カメラで干渉縞を撮像する。ここで、カメラの分解能以下の縞間隔を持つ干渉縞は記録できないため、物体波の光軸と参照波の光軸をほぼ一致させることにより、干渉縞の空間周波数を低く設定した。このようにして、デジタルホログラムが作成できる。

次に、物体波の振幅情報と位相情報を取得するために位相シフト法を用いる⁶。ピエゾ駆動ドライバMPC-350Gを制御し、ピエゾ素子付きミラーを前後移動させ、参照波の位相を0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に順次シフトさせる。ここで、各位相シフトにおいて作成されるデジタルホログラムは式3-1~4で表せる。次に、式3-5と式3-6を用いて、デジタルホログラムの実数成分と虚数成分が得られる。光波面の実数成分と虚数成分を得られたことにより、光波面の伝播を計算によって求めることができる。よって、ホログラムから任意の距離における、光波面の強度・振幅・位相情報を得ることが可能である。

実際に実験で測定したホログラム I_0, I_1, I_3, I_4 と得られたホログラムの実数成分 I_{Re} と虚数成分 I_{Im} を図3-6に示す。ここで、物体からCCDカメラまでの距離は200mmであった。次節に、デジタルホログラムの再生方法について述べる。

$$I_0 = A + B \cos \theta \quad - (3-1)$$

$$I_1 = A + B \cos(\theta + \pi/2) = A - B \sin \theta \quad - (3-2)$$

$$I_2 = A + B \cos(\theta + \pi) = A - B \cos \theta \quad - (3-3)$$

$$I_3 = A + B \cos(\theta + 3\pi/2) = A + B \sin \theta \quad - (3-4)$$

$$I_{Re} = I_0 - I_2 = 2 * B \cos \theta \quad - (3-5)$$

$$I_{Im} = I_1 - I_3 = 2 * B \sin \theta \quad - (3-6)$$

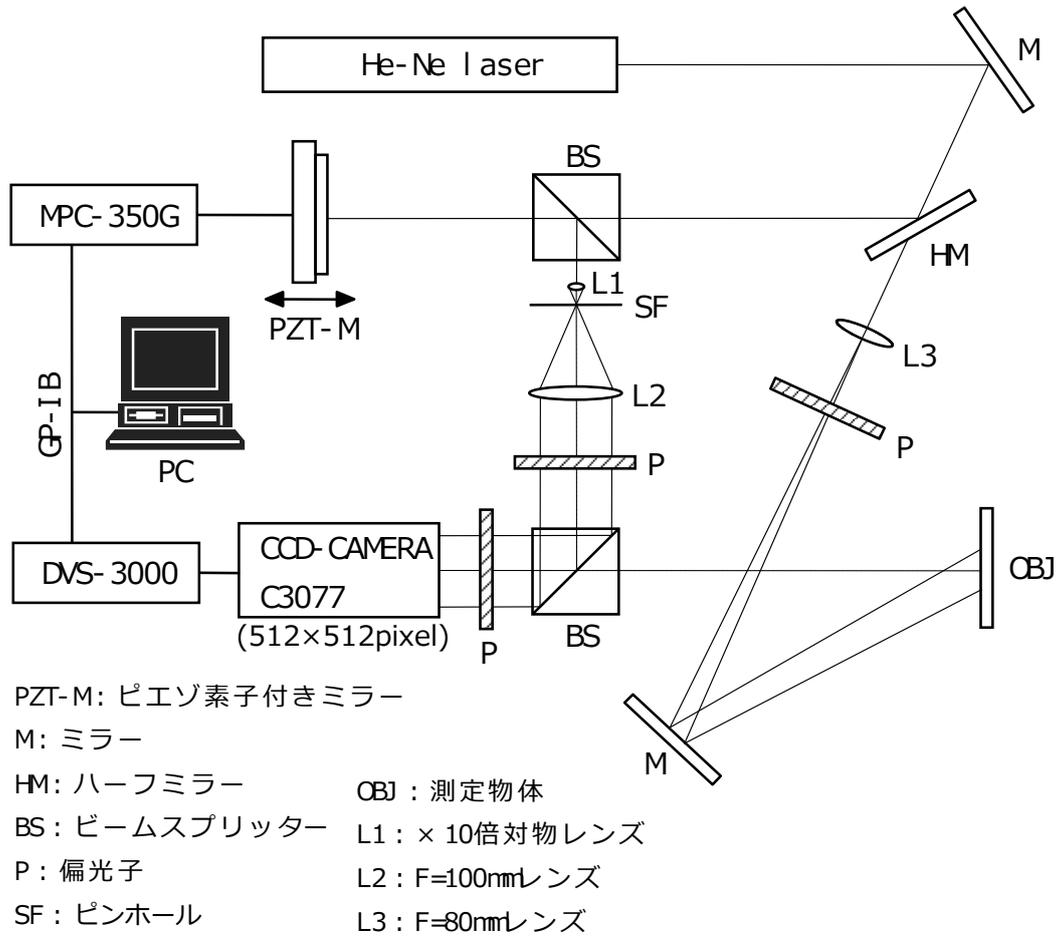


図3-5. デジタルホログラム作成光学系

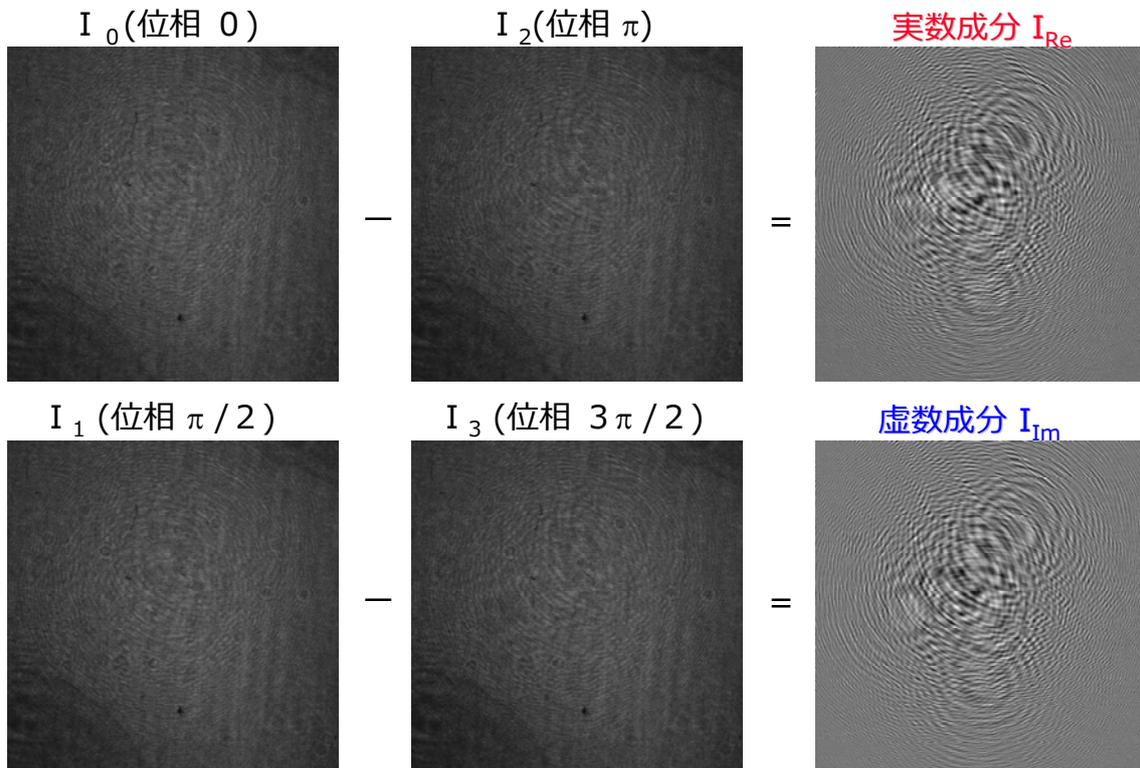


図3-6. デジタルホログラムの作成と演算

3-2-3 デジタルホログラムの再生

デジタルホログラムの再生について、実際に実験した事例について述べる。

まず、波面伝搬の基本式について述べる。点光源の波面伝搬関数は式 3-7 で表せる。

$$A = \frac{1}{r} \cdot \exp[-jkr] = \frac{1}{r} \cdot [\cos(kr) - j \sin(kr)] \quad - (3-7)$$

ここで、 j は虚数、 k は波数、 r は入力点から出力点までの距離を表す。また、係数 $1/r$ は振幅、 $\exp[-jkr]$ は位相を表しており、強度は $|A|^2 = 1/r^2$ となる。

図 3-7 は、フレネルゾーンプレートと呼ばれる点光源の波面伝搬関数の実数成分を示している。

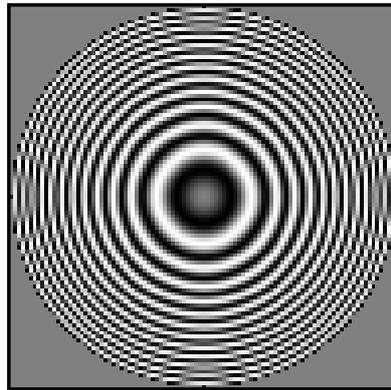


図 3-7. フレネルゾーンプレート

今、入力像面を点光源の集合と考えると、出力像面は各点光源からの波面伝搬関数の和となる。よって、ホログラム面から、出力像面の各点 $u(x_i, y_j)$ における波面は式 3-8 で表せる。

$$u(x_i, y_j) = \frac{1}{r} \exp\left[-jk\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + z^2}\right], \quad (i, j=0, 1, \dots, N-1) \quad - (3-8)$$

ここで、 N はホログラムの x, y 方向の各画素数、 z はホログラム面から出力像面までの距離を表す。

全ての出力像点における伝搬関数計算を行い、各伝搬関数の和より入力像面に対する出力像面が得られる^{7,8}。ここで、入力像面や出力像面の点数が多数の場合、計算時間が膨大になる。そのために、FFT法⁸やLUT法⁹を用いる手法が知られている。

前節で得られたデジタルホログラムの波面伝搬を計算することより、任意の距離における光波面の振幅情報を求めることができる。図 3-8 に、デジタルホログラムの再生方法と結果を示す。図 3-8 ①②③は、ホログラム面からそれぞれ 100mm, 200mm, 300mm 離れた面における振幅像を計算した結果である。図 3-8 ④測定物体までの距離は 200mm であるために、図 3-8 ②の振幅像が結像していることが分かる。一方、図 3-8 ①や③は測定物体までの距離が異なるために振幅像がぼけている。再生像はスペckルノイズが目立ち、鮮明とは言えないが、実数成分と虚数成分の両方を計算することにより、光波面の伝播を完全に再現できるため、不必要な 0 次光や共役光成分は発生していないことが分かる。

ここで、CCDの解像度は 512×512 画素であるために、 $512 \times 512 = 262,144$ ビット相当の情報量である。これは、前記アナログホログラムと比較して、0.00015%程度の情報量しかないことが分かる。このように、デジタルホログラムを扱う場合、情報量の少なさに対する何らかの工夫が必要である。

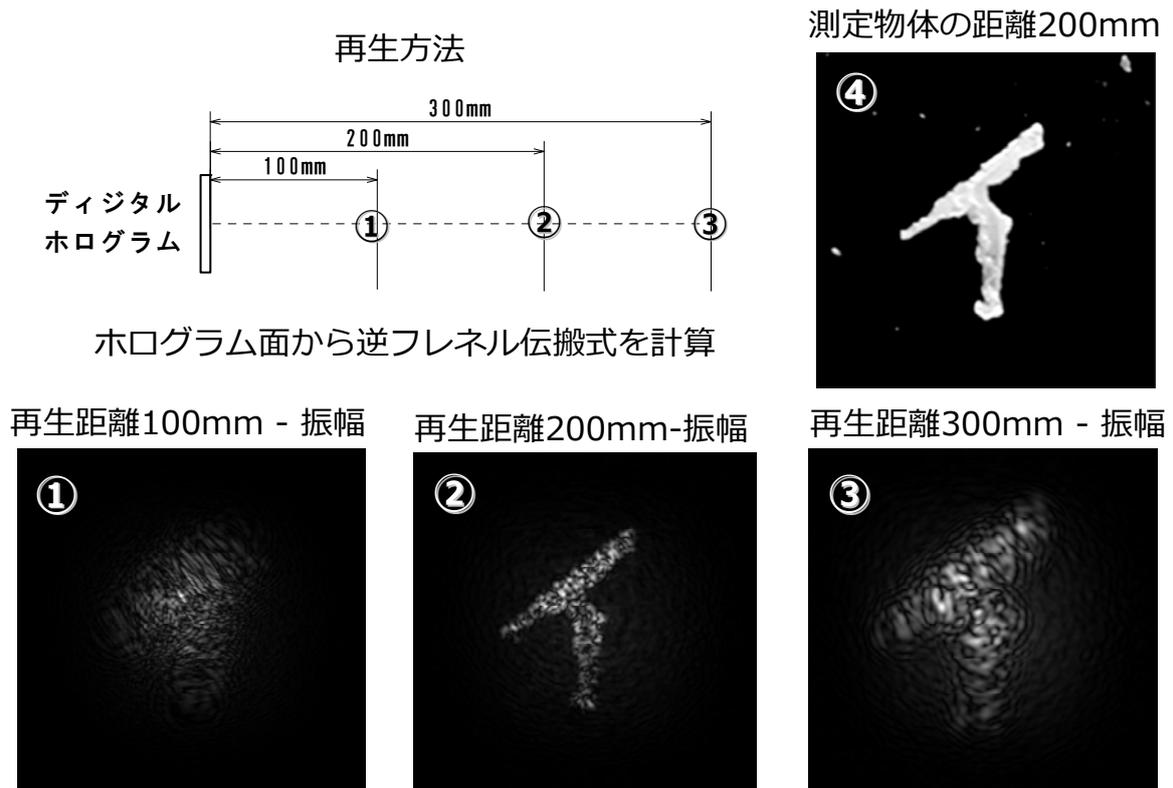


図3-8. デジタルホログラムの再生

3-3 まとめ

本章では、ホログラムの作成・再生とその応用について、いくつかの事例と実験結果を示した。アナログホログラムは、レーザー光を用いて瞬時に作成でき、記録できる情報量も膨大であるが、現像などの手間を要する問題がある。一方、デジタルホログラムは、計算機で処理することができるために、扱いやすいホログラムであるが、作成に時間を要し、記録できる情報量も少ない問題がある。これらの問題点を理解した上で、4章でホログラフィーの表示応用、5章でホログラフィーの測定応用について研究開発を行っている。

参考文献

- [1] 大越敬孝, “ホログラフィ”, 電子通信学会 (1977).
- [2] 辻内順平, “ホログラフィー”, 裳華房 (1997).
- [3] Eric A. Ash, “Dennis Gabor, 1900-1979”, Nature, 280, 5721, pp.431-433 (1979).
- [4] P. Hariharan, “Basics of Holography”, Cambridge University Press (2002).
- [5] P. Hariharan, 吉川 浩, 羽倉弘之, “ホログラフィの原理”, オプトロニクス社 (2004).
- [6] I. Yamaguchi, T. Zhang, “Phase-shifting digital holography”, Opt. Lett., 22, 1268-1270 (1997).
- [7] 小山次郎, 西原浩, “光波電子工学”, コロナ社 (1978).
- [8] 青木由直, “波動信号処理”, 森北出版 (1986).
- [9] H. Yoshikawa, S. Iwase, and T. Oneda, “Fast Computation of Fresnel Holograms Employing Difference”, Practical Holography XIV, SPIE Proc., 3956, 48 (2000).

第4章 ホログラフィーの表示応用

本章では、浜松ホトニクス株式会社中央研究所の研究者時代に研究したホログラフィーの表示応用について述べる。

4-1 背景と目的

ホログラフィーとは、光の振幅と位相の情報を干渉縞の形で記録されたホログラムを作成する技術のことであり、究極の三次元表示方式と言われる。しかし、ホログラフィー三次元表示装置は、情報量の膨大さにより、未だ実用化されていない。その膨大な情報量の問題を解決するために、計算機ホログラムを用いて、ピント調節を満足する人に優しいホログラフィー三次元表示装置の開発を目的としている。

4-2 三次元表示方式の流れ

本節では、三次元表示方式の流れについて述べる。図4-1に立体感を誘引する因子である①両眼視差、②運動視差、③輻輳角度、④焦点調節を示す¹。これらの因子が多いほど、観察者は自然な立体感を知覚する。図4-2に、三次元表示方式の分類図を示す。代表的な三次元表示方式として、①二画面方式、②多画面方式、③超多眼方式、④ホログラム方式の4つに大きく分類される。各番号順に立体感を誘引する因子が増加する反面、必要な情報量は増大する。

ちなみに、「立体表示」と「三次元表示」の意味合いは異なり、一般的に、「立体表示」は両眼視差を用いて立体認識を行うもの、「三次元表示」は両眼視差以外の因子も付加して、立体認識を行うものとされている。

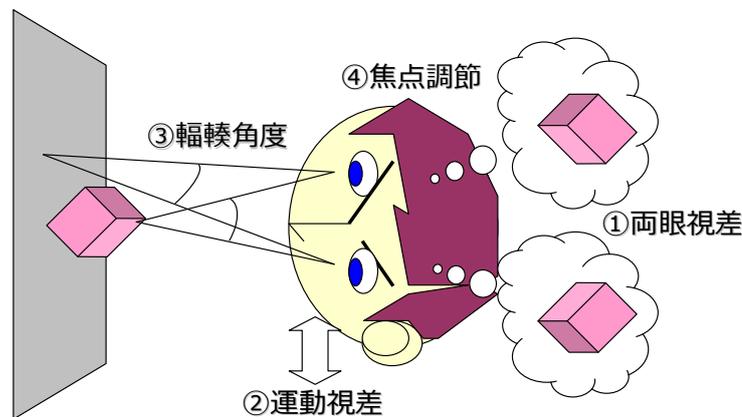


図4-1. 立体感を誘引する因子

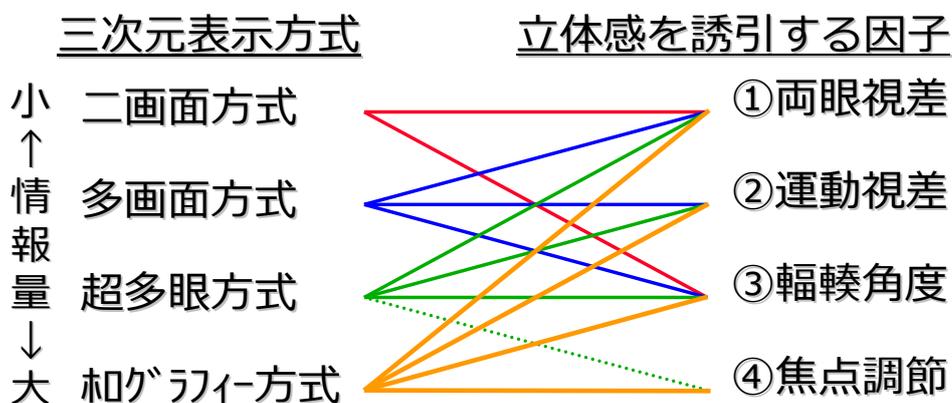


図4-2. 三次元表示方式の分類図

4-2-1 二画面方式 [Stereoscopic system based on binocular parallax method]

二画面方式は、百年以上前に提案された立体表示方式であり、観察者の右眼と左目に対して、視差の異なる画像を提示することにより、立体感を誘引する因子である①両眼視差と③輻輳角度を満足させる最も簡便な方式である。代表的な二画面方式の実現方法として、赤青フィルム、液晶シャッター、偏光フィルム、視差バリアなどを用いて、右目用と左目用の画像に分離する方法がある。二画面方式の問題点として、観察者の寄り眼の度合いを表す③輻輳角度と、眼の瞳による④焦点調節の間に矛盾が生じるために、立体像を観察し難いことや、長時間観察時における生理的な疲労が生じることが挙げられる。さらには、観察者の移動に伴い、画像歪みが発生する問題点もある。長年、実用化には至らなかったが、近年、BS放送で立体映像の視聴が開始され、実用化され始めた。二画面方式の原理説明を以下に示す。

図4-3は、交差法による両眼視差により立体認識を行う説明図である。観察者は視線を交差させて立体視を行う。画像表示面2の物体1Rを右眼で観察し、物体1Lを左目で観察することにより、地点1で右目と左目の視線が交差する。この時、観察者は地点1に立体像が存在するように認識する。しかし、眼の焦点調節は、地点1の場合、立体像がぼけて観察される。立体像に焦点を合わせるには、画像表示面2にある物体に眼の焦点位置を調節しなくてはならない。このような生理的矛盾により、長時間観察時に、観察者は疲労を生じる。さらには、観察画像に違和感を生じる原因でもある。

図4-4は、平行法と呼ばれる、右画像は右眼、左画像は左眼で観察する立体視画像である。遠くを観察するように、ぼんやり見ていると立体視ができ、交差法が苦手でも立体視しやすい。図4-4の上側を平行法で立体視すると、AがBより手前に見える。また、図4-4の下側を平行法で立体視すると、BがAより手前に見える。一方、交差法で観察すると、AとBの前後関係が平行法の時と反転する。

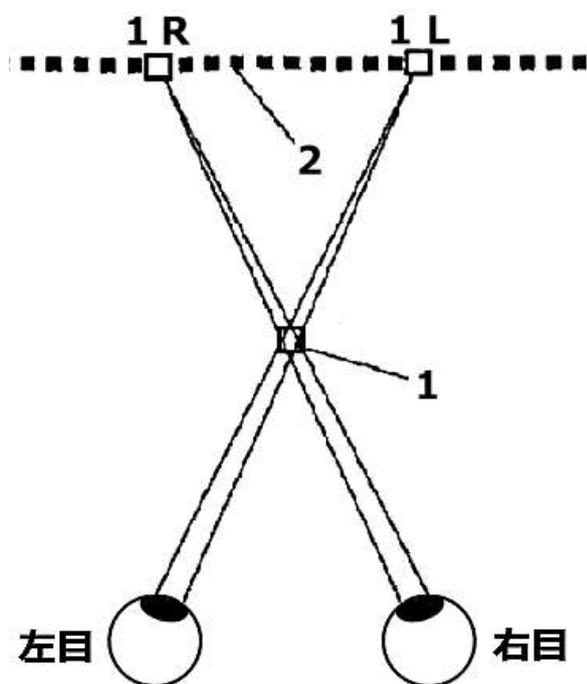


図4-3. 両眼視差による立体認識



図4-4. 立体視画像（平行法）

4-2-2 多画面方式 [Multi-viewpoint method]

多画面方式は、二画面方式より多数の視差画像を提示する方式である。近年、各社から数十視差を越える多画面方式の立体視ディスプレイが発表されている。多画面方式は、観察者の視点の移動に伴い、異なる視差に対応した画像を表示することにより、立体感を誘引する因子である①両眼視差②運動視差③輻輳角度の要素を満足する。特徴として、運動視差の因子を満足することにより、観察者の観察位置の自由度が大きくなり、二画面方式と比較して、立体像の観察が容易になる。しかし、二画面方式と同様に輻輳角度と焦点調節の不一致により生理的疲労が生じる立体視の根本的問題がある。また、視差画面数が多くなるにつれ、情報量が増大し、装置の大型化、視差情報の取得及び生成が困難となり、現状では展示会などでの広告宣伝用ディスプレイとして見かける程度にとどまっている。

4-2-3 超多眼方式 [Super-multi-view stereoscopic method]

超多眼方式は、多画面方式より多数の視差画像を発生させ、観察者の瞳に複数の視差画像を入射させた状態（超多眼状態）を満足する方式であり、複数の像が網膜像に投影されることにより、焦点調節機能を満足する可能性があり、近年、研究が行われている²。超多眼方式の原理説明を以下に示す。

まずは、実空間における単眼視差による立体認識について、図4-5を用いて述べる。地点1に四角画像（以下、□画像で表す）が存在し、観察者が地点1に焦点調節した場合、図4-6に示すように□画像は鮮明に観察される。一方、観察者の視線方向は等しく、面3の距離に焦点調節した場合、図4-7に示すように□画像はぼけて観察される。この「画像のぼけ」の度合いは、物体からの光波面が眼5の瞳4を通過する領域と関係している。例えば、瞳4の領域を制限して中心部しか通過しないようにすると、網膜上地点1Eに対して、物体からの収束光の角度が小さくなる。つまり、焦点が外れた場合、網膜上に投影される画像にぼけが生じるが、このぼけ量は瞳からの収束光の角度と依存する。収束光の角度が小さくなるとぼけ量は小さく、収束光の角度が大きくなるとぼけ量は大きくなる。言い換えると、瞳の領域が小さくなるとぼけは小さく、瞳の領域が大きくなるとぼけは大きくなる。よって、物体からの光波面が瞳全体を通過する場合、画像ぼけは大きくなるが、目を細めて、物体からの光波面が瞳を通過する領域を制限した場合、画像ぼけは小さくなる。

次に、超多眼状態における単眼視差による立体認識について図4-8を用いて述べる。この図では、地点1Rと地点1Lから指向性を持つ□画像が、眼5の瞳4の領域4Rと領域4Lの2箇所それぞれに入射している。観察者が地点1に焦点調節した場合、図4-9の様に□画像を立体認識する。ここで、□画像が多少ぼけているのは、地点1Rと地点1Lから完全な指向性を持つ画像を発生させることは困難であるためである。そのため、地点1に焦点調節を行った場合、画像発生面2を観察した場合と比較して、画像のぼけが発生するためである。一方、画像発生面2に焦点調節した場合、図4-10の様に2つ重なった□画像が網膜上3に結像する。これは、瞳4の一部分の領域4Lと4Rを通過する2つの成分があり、それぞれが網膜上3において横方向にずれて投影されるためである。図4-7のような実空間における自然なぼけ画像を再現するには、瞳4に多数の視差画像を同時に入射する必要がある。つまり、超多眼方式において自然なぼけ画像を再現するためにはホログラフィー方式に匹敵する膨大な情報量が必要であることが考えられる。ちなみに、本章3-1節で記載するホログラフィックプリンター及び、本章4-4節で記載するホログラムゴーグルは、ホログラム技術を活用して超多眼状態を満足する三次元画像を再生する装置である。

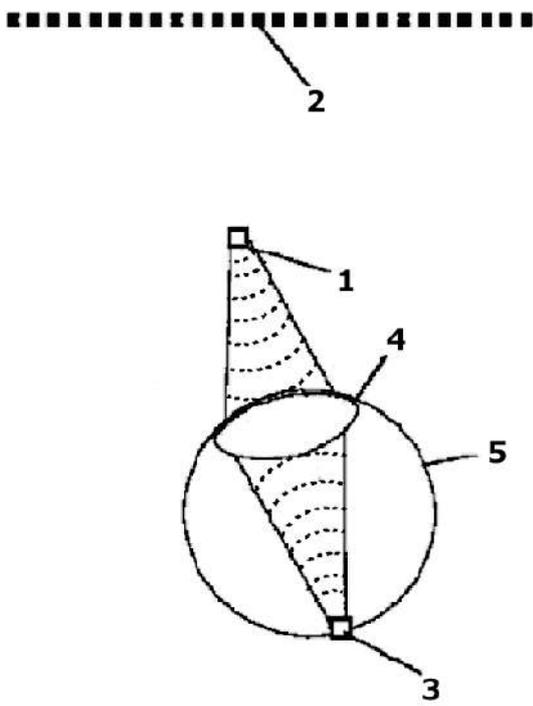


図4-5. 実空間における立体認識

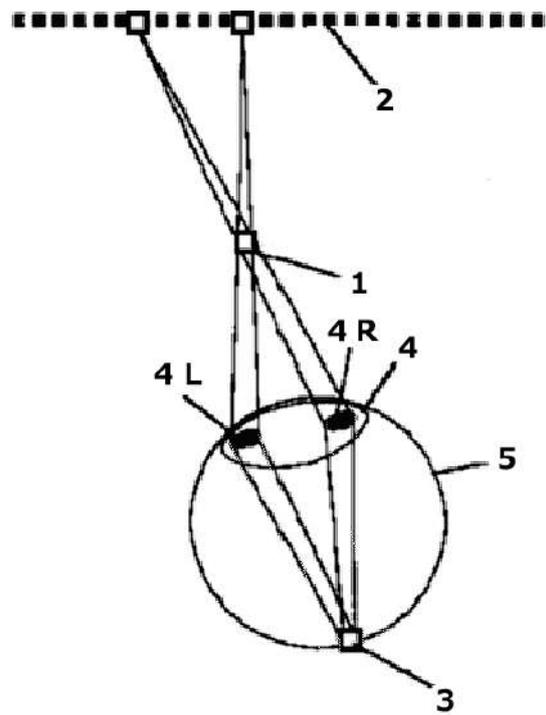


図4-8. 超多眼状態における立体認識

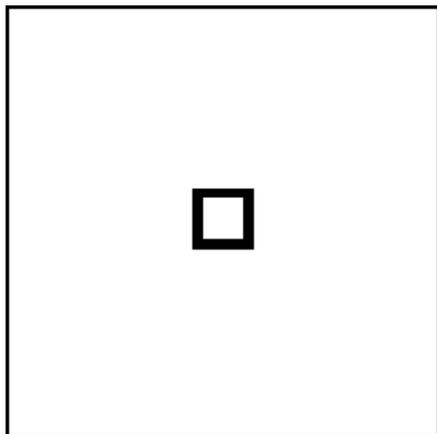


図4-6. 地点1に焦点調節（実空間）

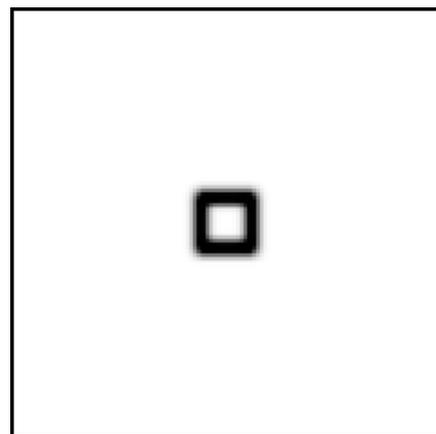


図4-9. 地点1に焦点調節（超多眼状態）

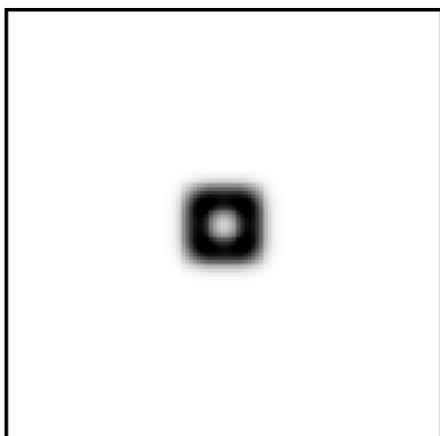


図4-7. 地点3に焦点調節（実空間）

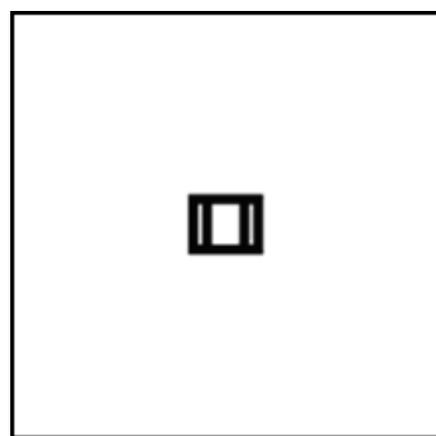


図4-10. 地点3に焦点調節（超多眼状態）

4-2-4 ホログラフィー方式 [Holography method]

ホログラフィー方式は、図4-5に示すような実空間における観察と同じ、自然な三次元画像を観察することができる波面再生方式である。そのため、立体感を誘引する因子である①両眼視差②運動視差③輻輳角度④焦点調節の全てを満足する究極の三次元表示方式である。動画ホログラフィーの実現には、動的に光の振幅と位相の両方を同時に制御できる空間光変調器が必要であるが、現状の空間光変調器の分解能、解像度、階調表現力、応答速度では、高品質な動画ホログラフィーを実現することは困難である。しかし、本章4-4節に記載しているホログラムゴーグルは、様々な工夫と制約を設けることにより、高品質な計算機ホログラム再生画像を観察することができる装置である。

4-3 静止画ホログラフィー

静止画ホログラフィーにはアナログ方式とデジタル方式があり、前者は、連続的に情報が記録されているのに対して、後者は離散的に情報が記録されている。例えば、実物体に対してレーザー光を照射し、その光波面を直接、ホログラムを記録するのに対して、後者はコンピュータで生成された離散的データをレーザー光と空間光変調素子を用いて、三次元情報をホログラムに記録する。近年、ホログラフィックプリンター^{3,4}の研究開発が進み、フルカラーで大型なデジタルホログラムが出力できる。これが、第8章で記載するホロライトを開発したきっかけとなっている。

4-3-1 ホログラフィックプリンター

図4-11は、三次元物体を輝点の集合と考え、多数の輝点からの光線により三次元物体を表現している。図4-12は、ホログラムから多数の再生光線を発生し、図4-11の輝点からの光線と同じ光線を再生することにより、同様な三次元物体を表現している三次元表示方法である。そして、光線の密度を高めることにより、超多眼状態を満足することが可能である。ホログラフィックプリンターは、この様な多数の光線を発生するホログラムを記録する。以下に、動作原理について述べる。

ホログラフィックプリンターは、ホログラフィックステレオグラムの技術を用いて、コンピュータで生成された多視点画像をホログラムに記録できる。そのホログラムは、多数の要素ホログラムから構成され、一つの要素ホログラムには、三次元物体を構成するための再生光線の方向と強度が記録されている。観察者は、ホログラム面から離れた地点に交差した複数の光線を観察することにより、ホログラム面から離れた地点に物体が存在するように立体認識する。例えば、一つの要素ホログラムには、縦100本×横100本の計1万点の光線情報が記録されており、ホログラムには縦100箇所×横100箇所の計1万箇所の要素ホログラムが記録されている場合、ホログラムを再生すると合計1億本の光線が同時に発生する。この時、観察者の瞳に、上下左右の視差画像に相当する複数の光線が同時に入射する状態である超多眼状態を満足しており、自然なホログラム再生像を観察することができる。

図4-12の様に、ホログラム全体に記録された要素ホログラム全体に再生光を照明することにより、全ての要素ホログラムから多数の光線が同時に再生される。それらの光線は、三次元物体が存在する空間位置で交差し、三次元物体を構成している。図4-13に異なる視点から撮影した薔薇のホログラム再生画像を示す。図4-13左から撮影位置は、ホログラムの下方向、正面方向、右方向であり、上下左右の視点位置に応じた視差画像が観察できる。図4-14に、PET検診データのフルカラーホログラムと、その拡大図を示す。拡大図より、多数の要素ホログラムで構成されていることが確認できる。

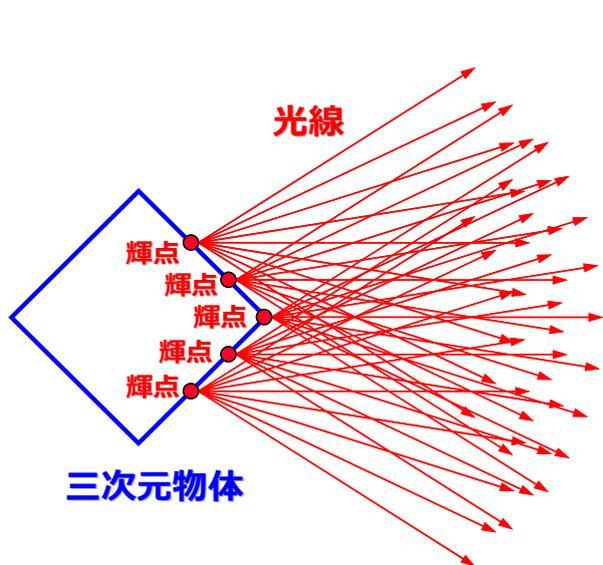


図4-11. 三次元物体からの光線発生

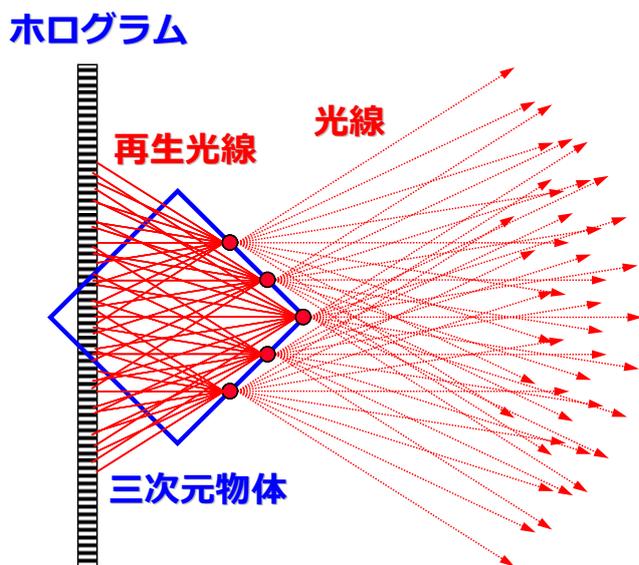


図4-12. 光線再生による三次元物体の再現



図4-13. ホログラフィックプリンターで出力されたホログラムの再生像（薔薇）

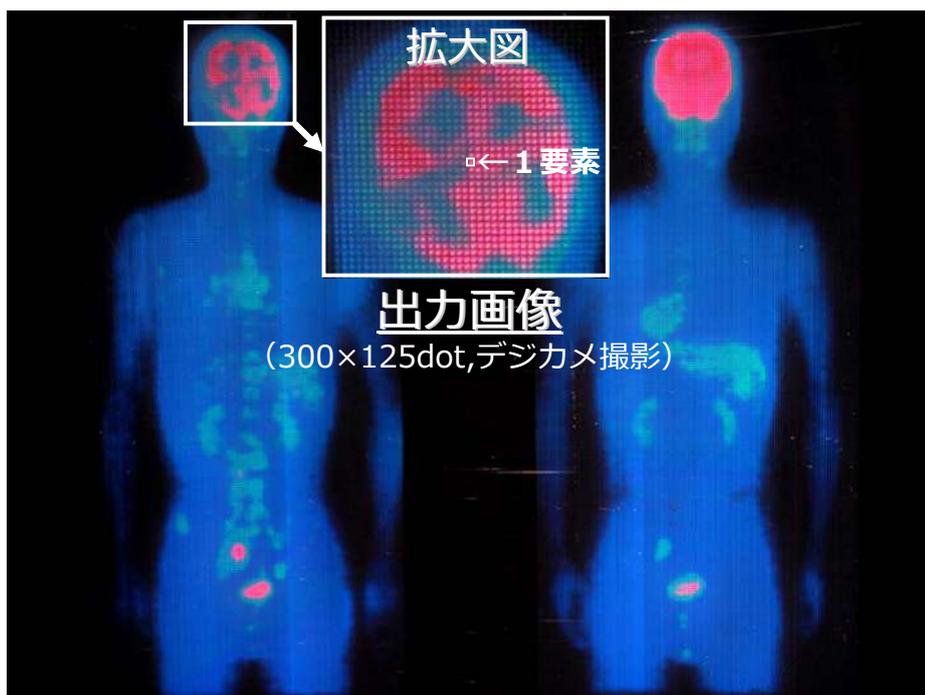


図4-14. フルカラーホログラムの再生像と拡大図

4-4 動画ホログラフイー

立体視方式を用いた三次元表示装置は、眼の輻輳角と焦点調節位置に矛盾が生じる。そのため、長時間の観察に伴う疲労や若年層に対する安全性が確保されていない。しかし、ホログラムゴーグル⁵はホログラフイー方式を用いることにより、眼の焦点調節を満足する人に優しい三次元画動画像を観察できるヘッドマウンティッドディスプレイ〔HMD〕型三次元表示装置である。ホログラムゴーグルは、通常のHMDと比較して、より高い臨場感が得られ、疲労度の少ない自然な立体像を再生できる。ホログラムには、計算機ホログラム〔CGH〕を表示した高精細な空間光変調器〔SLM〕が使用される。以下に、計算機ホログラムの作成・再生と、ホログラムゴーグルについて述べる。

4-4-1 計算機ホログラムの作成と再生

計算機ホログラム作成と再生について、数式を用いて述べる⁶。今、参照波を平面波として、計算機ホログラムを作成する。ホログラムの表示素子には強度変調型の空間光変調器を用いた場合、物体波 O と参照波 R を重ね合わせた時のホログラムは式4-1で表せる。

$$|O+R|^2 = |O|^2 + |R|^2 + OR^* + O^*R \quad - (4-1)$$

ここで、再生光に参照波と同じ平面波を用いると、再生される光波面は式4-2で表される。

$$R|O+R|^2 = R|O|^2 + R|R|^2 + O + R^2O^* \quad - (4-2)$$

式4-2の右辺の1項目と2項目は再生光の0次光、3項目は物体波、4項目は物体波の位相共役光を表している。4項目の R^2 は式4-3で表せる。 θ は物体波と参照波の角度を表す。

$$R^2 = (\cos\theta + i\sin\theta)^2 = \cos^2\theta - \sin^2\theta + i(2\cos\theta\sin\theta) = \cos 2\theta + i\sin 2\theta \quad - (4-3)$$

このように、物体波の位相共役光 R^2O^* は、物体波と参照波の角度 θ の2倍の角度で再生される。

次に、再生光に参照波の位相共役光を用いると式4-4で表せる。

$$R^*|O+R|^2 = R^*|O|^2 + R^*|R|^2 + R^{*2}O + O^* \quad - (4-4)$$

ここで、4項目の物体波の位相共役光 O^* であり、記録時の物体波の入射方向へ逆伝搬する成分である。

一方、物体波のみを再生したい場合、式4-4の3項目の O のみが必要である。そこで、強度変調型計算機ホログラムを作成する場合は、実数部だけに注目するために、物体光の実数部を持ったホログラムに対して垂直な平面波の再生光 R を入力すると式4-5で表せる。

$$R \times O.re = K\{O + O^*\} \quad - (4-5)$$

再生光 R により、物体波 O と、物体波の位相共役光 O^* が再生される。

ここで、物体波と、物体波の位相共役光は同じ方向に再生されるために、物体波の再生像と物体波の位相共役光が重なりあう問題が発生するが、ハーフゾーンプレート〔HZP〕とシングルサイドバンド〔SSB〕法を用いることにより、不要な片側の成分を遮断することが可能となり、高品質な計算機ホログラム再生像の再生が可能となる⁷。

4-4-2 HZPとSSB法を用いた計算機ホログラムの作成と再生

ハーフゾーンプレートとシングルサイドバンド法を用いた計算機ホログラムの作成と再生方法について述べる。まず、コンピューターグラフィクス [CG] や複数のカメラを用いて、三次元物体の輝度画像と距離画像を生成する。図4-15と図4-16は、CGより生成した3つの球体と、その後方にある平面に、ホトマルのテクスチャー画像を貼り付けた輝度画像と距離画像である。



図4-15. 輝度画像

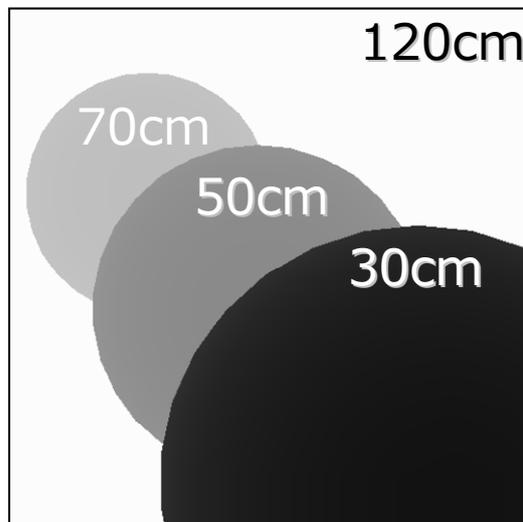


図4-16. 距離画像

次に、ホログラム面からの距離情報に応じた図4-17のハーフゾーンプレートを選択し、輝度情報と乗算演算し、メモリ上に加算演算することにより、図4-18のホログラムパターンが生成される。ホログラムパターンは、一見、何も見えないが、細かい縞々画像（干渉縞）で構成されている。

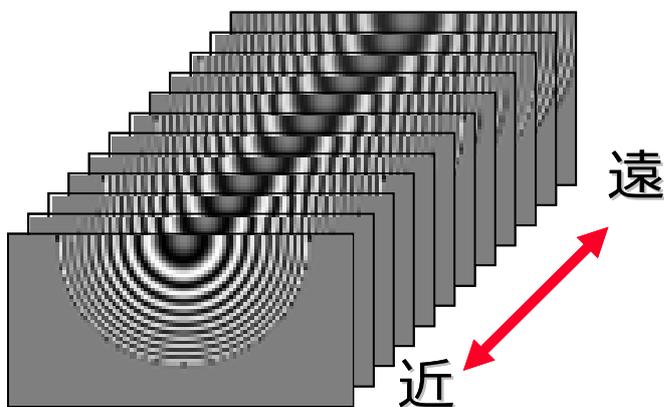


図4-17. ハーフゾーンプレート

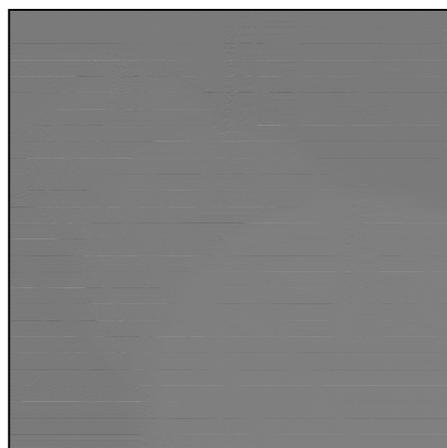


図4-18. ホログラムパターン

次に、生成されたホログラムパターンをSLMに表示する。図4-19のように、LED光源を用いた平行光照明により、SLMから三次元物体の再生像と共役像が同時に再生される。ここで、シングルサイドバンド法を用いる。三次元物体を構成する輝点の波面伝搬に注目すると、図4-20のように、ハーフゾーンプレートにより半平面の光波面のみが再生され、レンズの焦点距離において、再生像と共役像の光波面が分離され、不要な共役像成分と0次光成分を遮光マスクで除去することができる。図4-21のように、ホログラム再生像はレンズにより虚像拡大結像される。観察者は遮光マスクにある開口部から高品質なホログラム再生像を観察することができる。

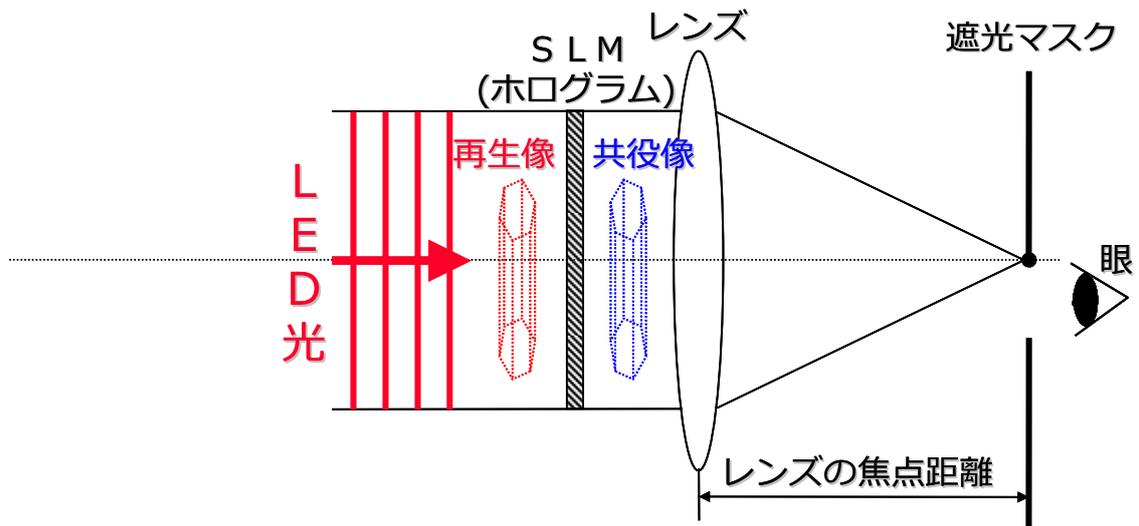


図4-19. 再生像と共役像の再生

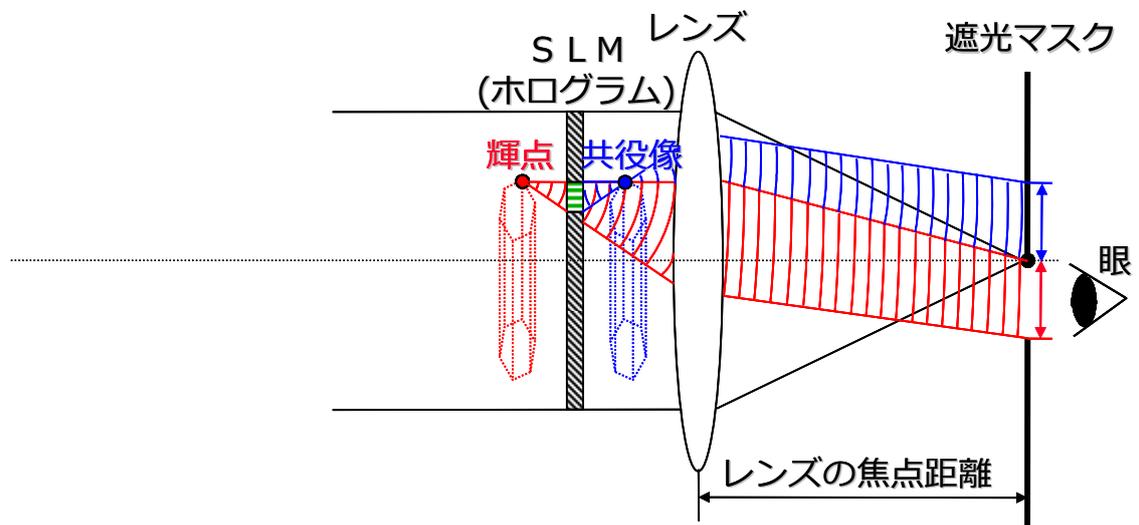


図4-20. 再生像と共役像の分離と除去

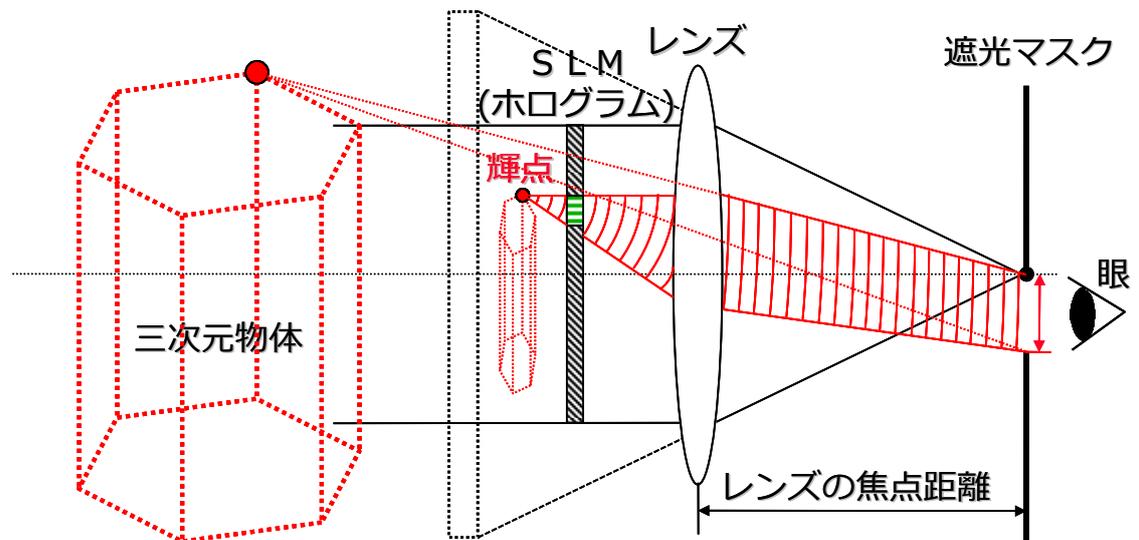


図4-21. ホログラム再生像の虚像拡大観察

4-4-3 計算機ホログラムの再生像

ホログラム再生像は、観察者の眼の焦点調節位置に応じて、観察画像の鮮明さやぼけ具合が変化する。図4-22の様に、手前側に眼の焦点を調節することにより、手前側の球体に焦点が合い、奥側の平面がぼけている。一方、図4-23の様に、奥側に眼の焦点を調節することにより、手前側の球体はぼけ、奥側の平面に焦点が合っている。このように、観察者の焦点調節位置に応じた自然な三次元物体を観察できる。(ホログラム再生像の撮影には、デジタルカメラのマニュアルフォーカスを用いている。)



図4-22. 手前に焦点調節時



図4-23. 奥に焦点調節時

4-4-4 ホログラムゴーグル

これまでの技術を導入したHMD型三次元表示装置「ホログラムゴーグル」について述べる。

図4-24にホログラムゴーグルの光学展開図を示す。点光源LEDから出た光は、ハーフミラーを通過した後、レンズより平面波に変換され、計算機ホログラムが表示されている反射型液晶素子[LCO S]に照明され、三次元画像情報を持つ光波面に変換される。観察者はハーフミラーとレンズを介して虚像拡大されたホログラム再生像を観察する。図4-25は、ホログラムゴーグル使用時の様子である。ホログラムゴーグルは覗き込む形態でホログラム再生像を観察する。表4-1に、ホログラムゴーグルの主な仕様を示す。図4-26は、ホログラムゴーグルの構造図である。個人差に応じ眼幅の調節が可能であり、動画ホログラムを観察しながら、前方を観察できるシースルー構造を有している。図4-27は、ホログラムゴーグルの概観写真であり、生まれたての卵をイメージしている。

この光学系の構成要素が、第8章で記載するホロライトの基本構成となっている。

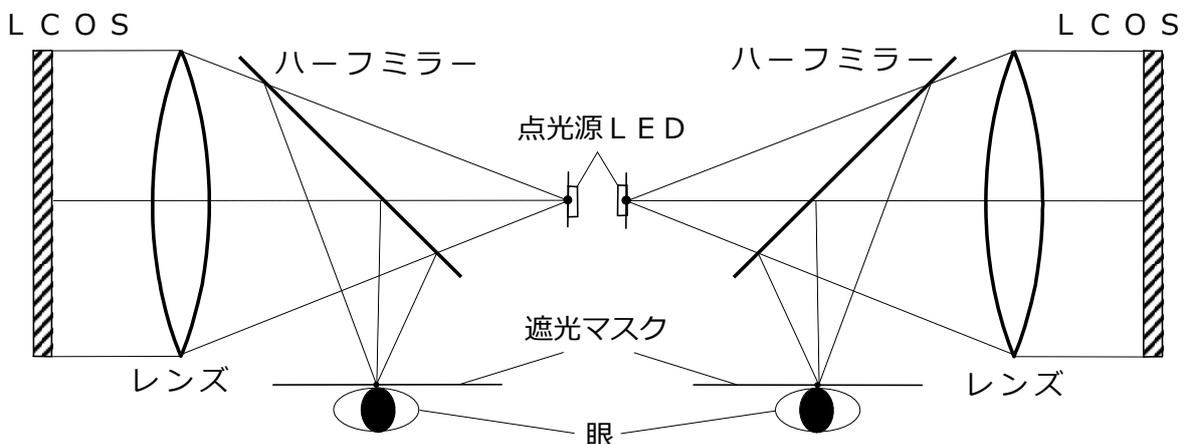


図4-24. ホログラムゴーグルの光学系展開図



図4-25. ホログラムゴーグル使用時の様子

表4-1 ホログラムゴーグルの主な仕様

表示素子	HDTV [1920×1080pixel], 256階調, 60Hz, モノクロ単板2枚
表示輝点数	約50万点相当 [960×540pixel相当]
表示奥行き	約30cm～無限遠、近点距離は設定により変更可能
水平視野角	約22度
入力信号	標準アナログVGA, Dsub-15pin
消費電力	20W以下
質量	約500g
その他	シースルー機能、視力補正機能



図4-26. ホログラムゴーグルの構造

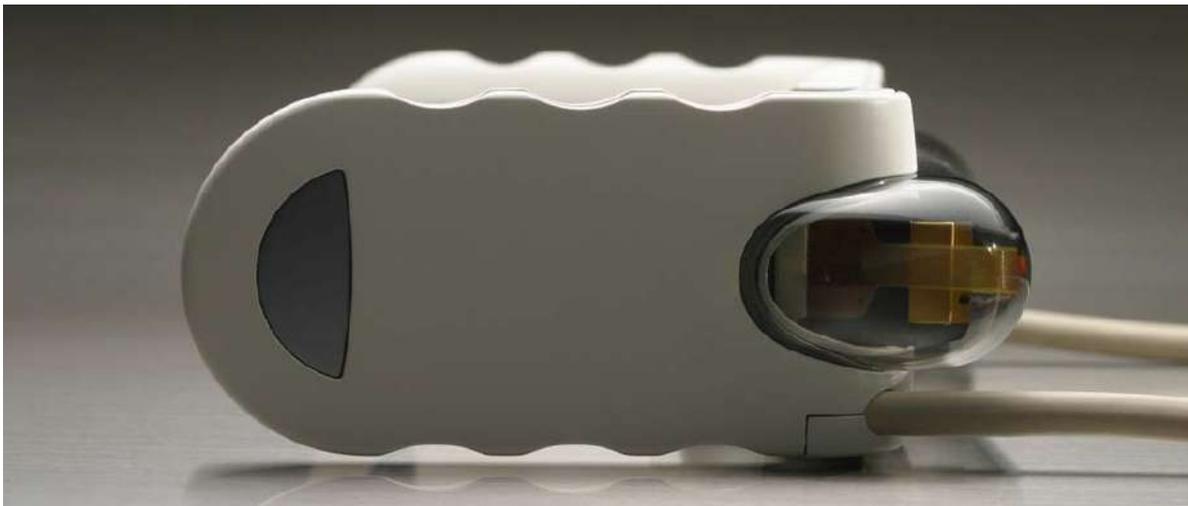


図4-27. ホログラムゴーグルの概観写真
[H-HMD : Holographic-Head Mounted Display]

4-5 まとめ

本章では、浜松ホトニクス株式会社中央研究所の研究員時代に研究したホログラフィーの表示応用について述べた。三次元表示方式の流れについて示し、最も情報量が大きいホログラフィー方式に関する具体的な表示応用として、静止画ホログラフィーであるホログラフィックプリンター、動画ホログラフィーであるホログラムゴーグルについて詳述した。ホログラフィックプリンターは、多数の光線を再生することにより超多眼状態を満足するホログラム画像を出力することができる。ホログラムゴーグルは、特殊な計算機ホログラムを用いて、超多眼状態を満足する動画ホログラム再生像を表現することができる。このように、超多眼状態を満足するホログラフィー方式は、ホログラフィーの膨大な情報量を低減できる新しい手法であり、将来、ホログラフィー3Dディスプレイを実用化の際に有益な技術である。

謝辞

ホログラフィーの表示応用に関する研究は、浜松ホトニクス株式会社中央研究所において、2001年4月から2004年4月までの約3年間で行われた。計算機ホログラムの基礎から応用まで、指導して下さった竹森民樹氏に、記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 結城昭正, " スキャンバックライト方式3D液晶ディスプレイ", 月刊ディスプレイ, 11, 4, pp. 94-98 (2005).
- [2] 須藤 敏行, 尾坂 勉, 谷口 尚郷, "光線再現方式3Dディスプレイ", 映像情報メディア学会技術報告, 26, 73, pp. 5-8 (2002).
- [3] M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda, "Holographic three-dimensional printer: new method," Appl. Opt. 31, pp. 217-222 (1992).
- [4] 竹森民樹, 池田貴裕, " 静止画ホログラフィ", フォトンフェア 2004 配布資料, (2004).
- [5] 池田貴裕, 竹森民樹, " 動画ホログラフィ", フォトンフェア 2004 配布資料, (2004).
- [6] 辻内順平, 村田和美, "光学情報処理", 朝倉書店 (1974).
- [7] 竹森民樹, "液晶パネルを用いた3次元表示—高速計算法—", 映像情報メディア学会技術報告, 21, 46, pp. 13-19 (1997).

第5章 ホログラフィーの測定応用

本章では、マサチューセッツ工科大学スペクトロスコピー研究所の客員研究員時代に研究したホログラフィーの測定応用について述べる。

5-1 背景と目的

人類の肉眼では直接観察出来ない微小な物体を見たいという好奇心から顕微鏡が誕生した。顕微鏡の発明は、1595年オランダの Hans Lippershey と Zacharias Janssen らであるとされている。顕微鏡を生物体の観察に応用したのが17世紀のオランダの学者 Antonie van Leeuwenhoek である。彼は身の回りの様々な対象物を顕微鏡を用いて観察、スケッチに残している。顕微鏡を用いて最初にコルクを形作る小さな部屋である「細胞」について記述したのは、18世紀のイギリスの学者 Robert Hooke である。コルクが沢山の部屋が集まって出来上がっているとの記述は Micrographia に掲載されている。顕微鏡観察に関する技術的な発展は、ヨーロッパでの光学技術の進歩と共に築かれた。

光学顕微鏡分野では、位相差顕微鏡¹、偏光顕微鏡、微分干渉顕微鏡、蛍光顕微鏡などの観察技術が開発されたが、光学技術の限界である0.2ミクロン以下の対象物の観察及び、定量的な奥行き情報の取得は不可能であった。その限界を打ち破る技術として、光学顕微鏡では観察不可能な極微小の対象の観察を可能とする電子線を利用した電子顕微鏡技術、原子の領域の観察を可能とする原子間力顕微鏡などが開発され、原子の領域の極微小の未知の対象物に関する構造情報を手にすることも可能となり、従来では、光学的に観察が不可能とされた0.2ミクロン以下の極微小の対象物でも情報処理技術との組み合わせにより見えない筈の物が見える技術も開発された²。

近年、20世紀末から21世紀にかけて遺伝子解析に関する研究、すなわちゲノミクスが著しい発展を遂げ、人のゲノム情報もほぼ解明された。図5-1に示すように、現在は、ゲノムの果たす機能、さらにはゲノム情報のもとに合成されるタンパク質の合成、代謝に関する研究、プロテオミクス、メタボロミクスに関心が移っている。それとは別に生物体の最小単位と位置づけられている細胞を生きたままの状態を観察し、その構造と機能に関する情報をリアルタイムで蓄積・解析する技術開発も研究者からの長き亘る要求である。

本章では、光干渉技術であるホログラフィーを用いて、生物細胞の状態を解析するための定量情報を非侵襲且つ非接触に測定できる定量位相顕微鏡の技術開発、さらに、定量位相顕微鏡の実用化を目指して、開発した複数の定量位相顕微鏡について、比較評価することを目的とする。

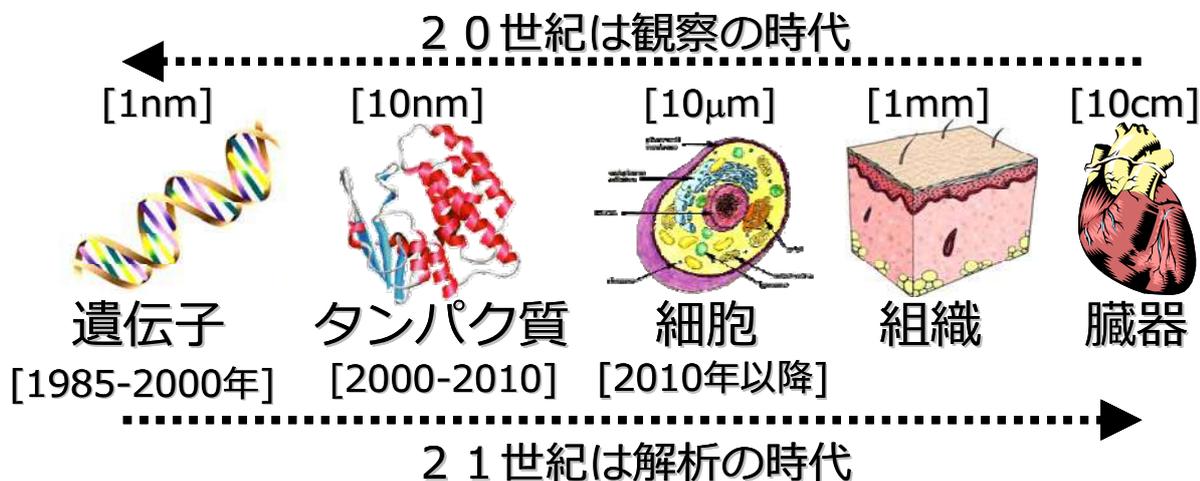


図5-1. 研究開発の動機

5-2 定量位相イメージング [QPI : Quantitative Phase Microscopy Imaging]

定量位相イメージングとは、光干渉技術を用いて定量的な位相情報の画像化を行うことである。図5-2は、細胞を通過した際に、変化する波面伝播の様子を示す。この波面が進んだり遅れたりする定量値を画像化することができる。図5-3は、原理確認のためのマッハツェンダー型干渉計である³。図5-4は、定量位相画像の生成過程を示す。以下に、定量位相イメージングの動作原理について述べる。

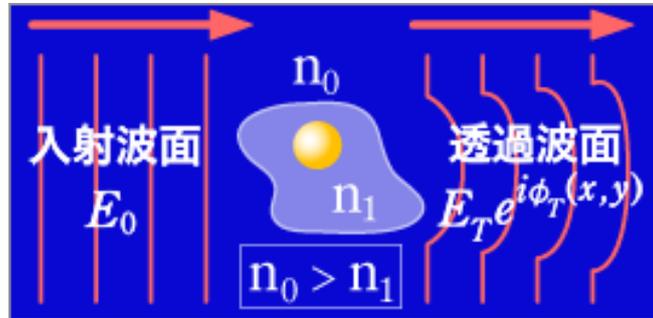


図5-2. 波面伝播の様子

試料としてコア径 $100\mu\text{m}$ 、クラッド径 $110\mu\text{m}$ の光ファイバーを用いた。レーザー光はビームスプリッターBSで二つの光に分岐される。一方の光は物体波であり、照明された試料からの物体波は対物レンズObj.1と結像レンズによりCCD素子上に拡大結像される。光ファイバーは光に対して透明な試料であるため、コントラストの低い強度画像が得られる(図5-4 a)。もう一方の光は参照波であり、対物レンズObj.2とコリメーターレンズにより平面波となり、CCD素子面上に斜入射されホログラム(干渉縞)を形成する(図5-4 b)。次に、コサイン成分(図5-4 c)を求め、縞解析処理により位相画像が得られる(図5-4 d)。得られた位相画像から位相飛びをつなぎ合わせるアンラッピング処理により(図5-4 e)、光ファイバーの位相画像を取得することが可能である(図5-4 f)。

本手法は、フーリエ変換法と呼ばれ、一枚の取得画像から一枚の位相画像が得られるために、高速な測定に適している^{4,5,6}。一方、位相シフト法と呼ばれる手法では、複数枚の取得画像から一枚の位相画像が得られるために高精度であるが、高速測定には適していない⁷。

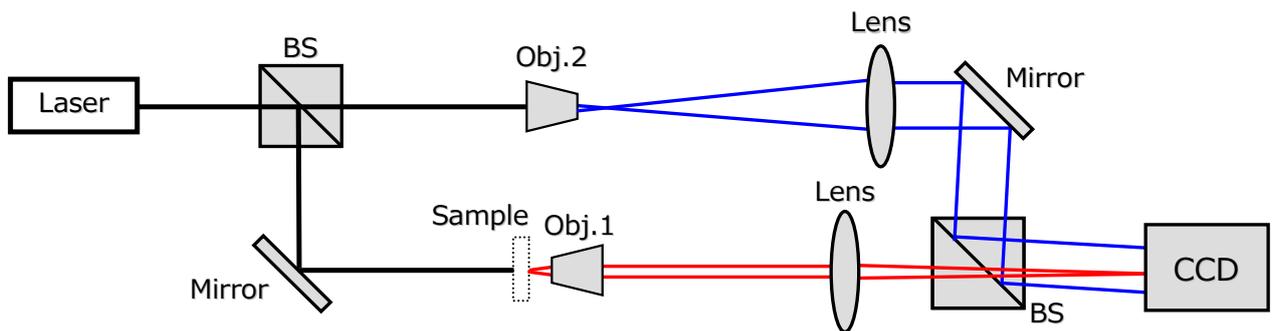


図5-3. マッハツェンダー型干渉計

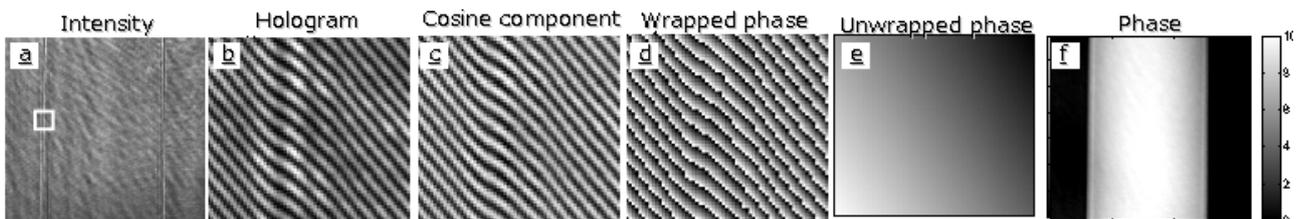


図5-4. 定量位相画像の生成過程

次に、動的測定の有効性を確かめるために、コールドスプレーをガラス基板に吹き付けて作成した微小水滴の蒸発の様子を測定した。ホログラム撮影には高速CCDカメラ [C7770, 浜松ホトニクス製] を用いた。測定時間は10.3ミリ秒間隔で計3.43秒間であった。

図5-5は微小水滴の測定結果を示している。

図5-5 aは測定された微小水滴の厚み画像を示している。図中の4つの微小水滴に対して1から4の番号を付けた。図中の白線は長さ10 μm を表し、水滴1は横方向20 μm 程度、高さ1.6 μm 程度の大きさである。

図5-5 bは、図5-5 a内の点Rを基準とした場合の点Oの光学距離値の変化を示す。光学距離値の時間変動に関する標準偏差値は1.32 nmである。

図5-5 cは、微小水滴1から4の高さの時間変動を示す。蒸発により微小水滴の高さは減少するが、図5-5 cの矢印部のように、上昇する場合も確認される。

図5-5 dは水滴1～4の面積と高さの積から得られる体積値の時間変化を示す。高さの変動とは異なり、安定して単調に減少している。

実際に、動画で微小水滴の蒸発の様子を観察した所、図5-5 c内の矢印部において、高さが急激に上昇していることが確認できた。一方、面積が急激に減少していた。つまり、微小水滴が蒸発する際に、ガラス基板の表面状態の影響により、面積及び高さの変動が不安定な状態になる。しかし、面積と高さ情報の同時測定から得られる体積値の変動は安定しており、高精度な測定を行うことが可能である。

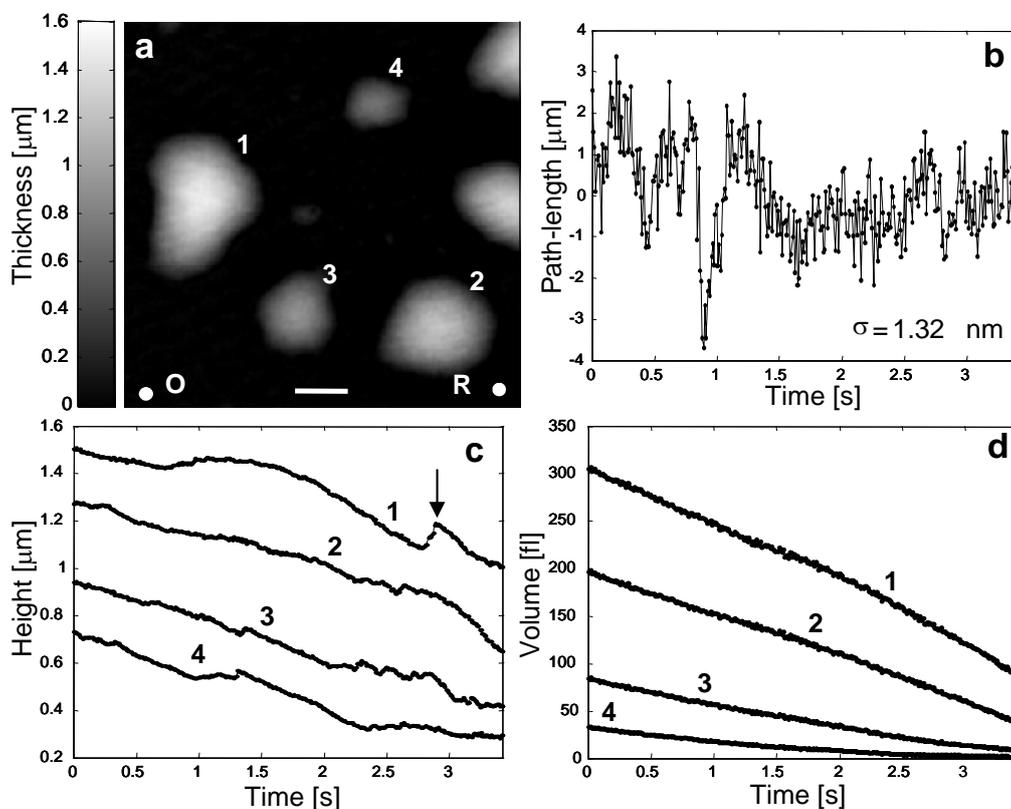


図5-5. 微小水滴の蒸発

5-3 定量位相顕微鏡 [QPM: Quantitative Phase Microscopy]

図5-6は、ファイバー光源を用いて定量位相イメージング技術を倒立顕微鏡に導入した定量位相顕微鏡である⁸。ファイバー光源を用いることにより光源の設置性を高めている。図5-3と同様に、ファイバー光源Aを出射した光は物体波、ファイバー光源Bを出射した光は参照波である。ここで、参照波用光学系のファイバー光源B、コリメーターレンズCL、ミラーM、対物レンズObj.2、ピンホールPHは、同じステージ上に配置されており、光軸に対して平行に移動することができる。このステージの平行移動により、CCDカメラに対して、参照光の傾きを調節することが可能であり、干渉縞であるホログラムの空間周波数を容易に調節することができる。

定量位相顕微鏡の原理確認のために赤血球を測定した。使用した光源は波長632.8nmのHe-Neレーザーである。作成した干渉縞であるホログラムはCCDカメラで取得され、PC内で定量位相画像が得られる。赤血球の定量位相画像を図5-7aに示す。赤血球の特徴であるドーナツ型形状が観察される。また、図5-7中の矢印方向の赤血球の厚みをプロットした結果を図5-7bに示す。凹んでいる中央部は1 μm以下、その周辺部の最大値は3.7 μm弱程度であることが定量化された。

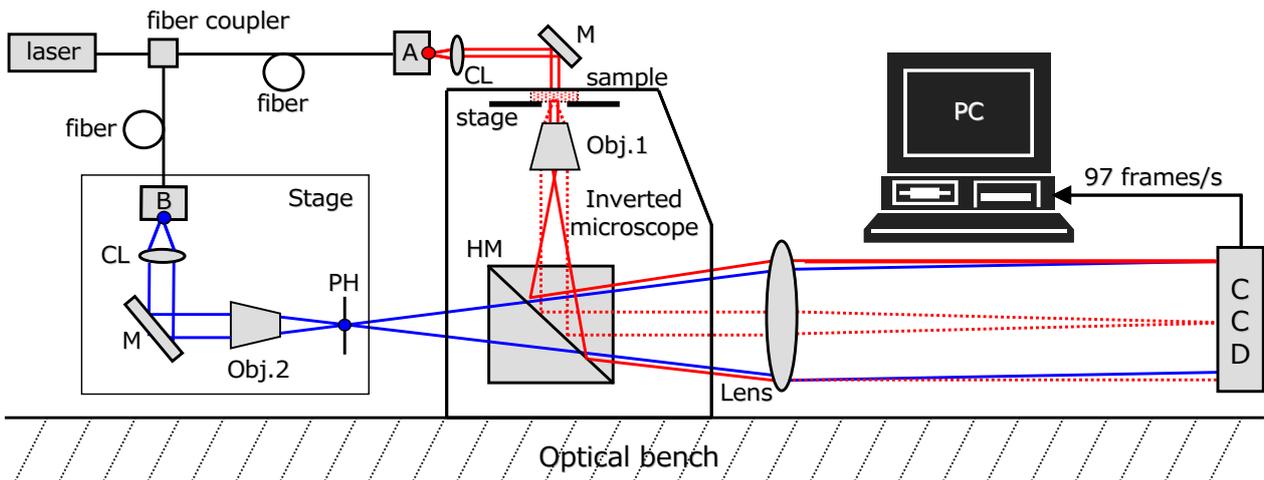


図5-6. 定量位相顕微鏡 [QPM]

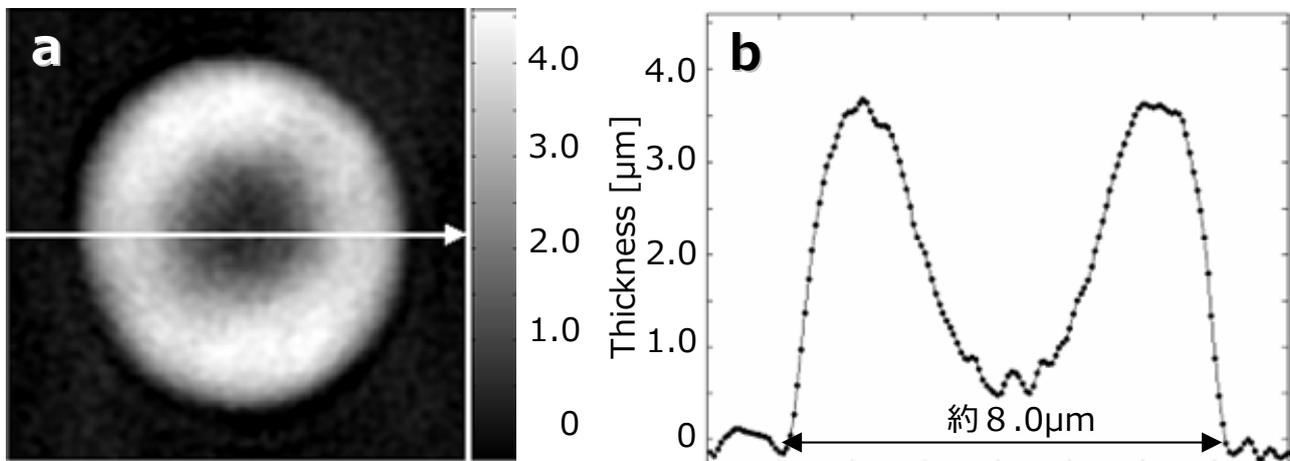


図5-7. 赤血球の定量位相画像と厚み形状

5-4 定量位相顕微鏡による血球細胞測定

赤血球は無核細胞で細胞膜と内部のヘモグロビンと水分からなる単純構造である。赤血球の細胞膜は非常に柔らかく様々な形状に変化することが出来る二層構造である。その細胞膜の内側には細胞骨格が存在しており、細胞膜の面方向には高い弾性力、垂直方向には高い流動性を持っている。この細胞膜の機械的特性を解析することにより、生物細胞の物理量を定量化することができる^{9,10}。本節では、定量位相顕微鏡を用いた血球細胞の測定事例について述べる。

5-4-1 血球細胞の形態変化

定量位相顕微鏡を用いて採取した血液の観察を行った。血液はカバーガラスに挟み込まれ100倍の対物レンズで測定した。高速CCDカメラ [C7770, 浜松ホトニクス製] を用いて、約10ミリ秒間隔でホログラムを取得した。図5-8左は測定開始時の定量位相画像である。測定画像の左下方向に白血球、右上方向に赤血球が存在する。図5-8右は測定開始約10秒後の定量位相画像である。白血球が赤血球方向に移動し、赤血球の形態が大きく変化している。

ここで、赤血球内部のヘモグロビンの屈折率を1.34、赤血球周辺の生理食塩水の屈折率を1.40とすると屈折率差は $\Delta n = 0.06$ となり、赤血球の厚み画像は式5-1、体積値は式5-2で表せる。

$$u(x, y; t) = (\lambda / 2\pi\Delta n)\phi(x, y; t) \tag{5-1}$$

$$V(t) = \int u(x, y; t) dx dy \tag{5-2}$$

図5-9に図5-8の赤血球の水平方向（白矢印）と垂直方向（黒矢印）の厚み形状を示す。

図5-9左は、赤血球の水平及び垂直方向の厚み形状である。赤血球の特徴であるドーナツ型形状が確認できる。最大厚み量は3 μm 程度と定量化できた。図5-8右は、測定開始約10秒後の赤血球の水平及び垂直方向の厚み形状である。白血球との相互作用により1ミクロン程度の厚みが変化した。

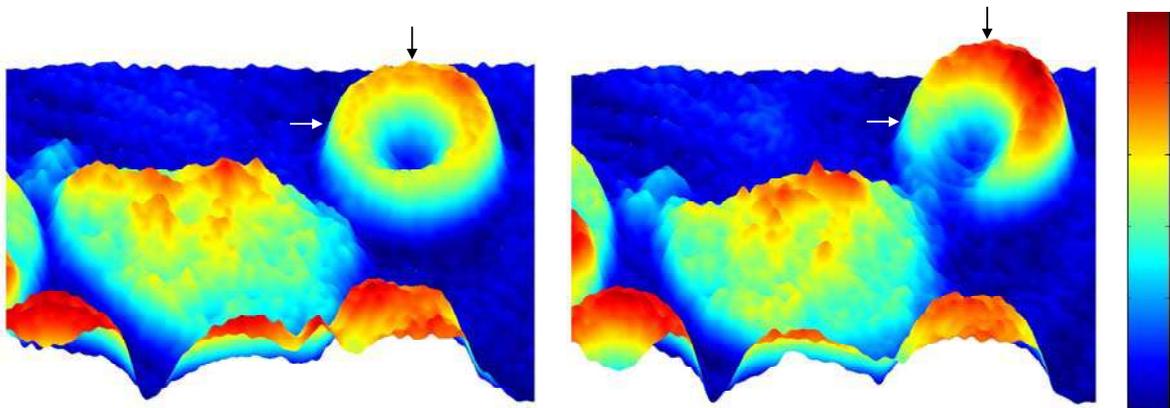


図5-8. 血球細胞の形態変化（左：測定開始時、右：10秒後）

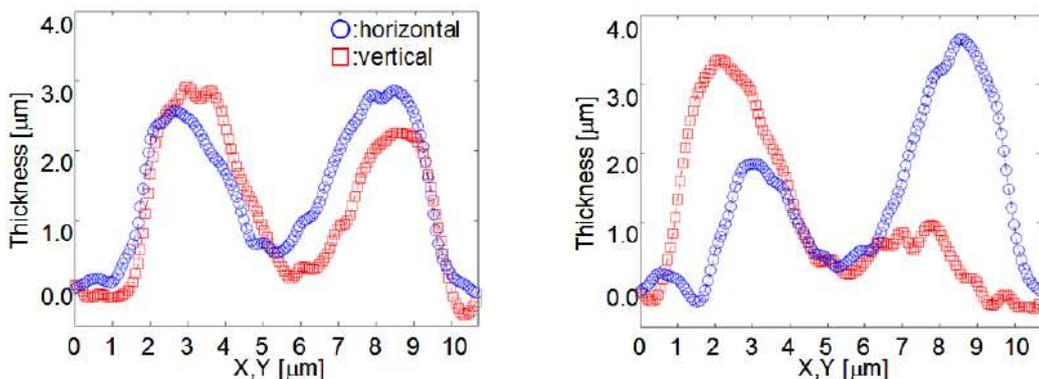


図5-9. 赤血球の厚み形状（左：測定開始時、右：10秒後）

5-4-2 白血球の遊走運動

遊走している白血球の定量位相画像の様子を、図5-10左から右に順に5秒間隔で示している。図5-10のカラーバーは光学距離値を表し、単位はナノメートルである。図5-2で示した通り、細胞を通過してきた光波面の位相情報は、積算された位相変化量となる。そのため、高い屈折率を有する顆粒内容物が存在する領域の位相変化量は大きくなるために、細胞表面が凸凹形状の様に観察できる。このように、白血球の遊走運動により、内部の顆粒が移動する様子を観察することができる。

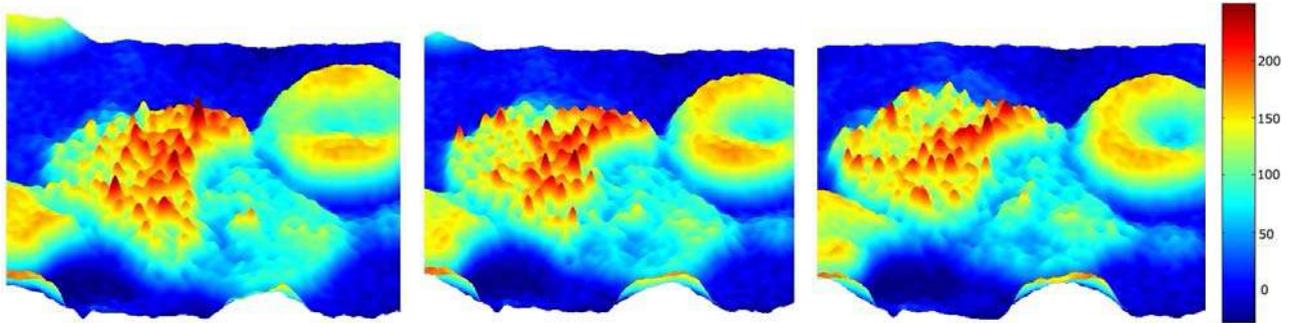


図5-10. 白血球の遊走運動 (左：測定開始時、中：5秒後、右：10秒後)

5-4-3 赤血球の溶血現象

赤血球内部のヘモグロビンが外部に流出する溶血現象を測定した。測定時間は約6秒間である。測定開始から、約2.2秒で赤血球の溶血現象が発生した。図5-11は、赤血球の溶血現象の定量位相画像である。時間とともに赤血球が透明になる様子が観察できる。図5-12は、溶血した瞬間の定量位相画像で差分処理を行うことにより、赤血球内部からヘモグロビンが流出する様子を可視化したものである。赤血球内部からヘモグロビンが外部流出する様子が観察できる。図5-13は、赤血球の光学的体積値とヘモグロビン流出部 (図5-12左上画像の矢印部) の光学距離値の時間変化を示す。グラフより、溶血前にわずかに光学的体積値が増加しており、溶血後はヘモグロビンの流出により光学的体積値が減少し、ヘモグロビン流出部の光学距離値は急激に上昇し、約9nmで飽和していることが分かる。

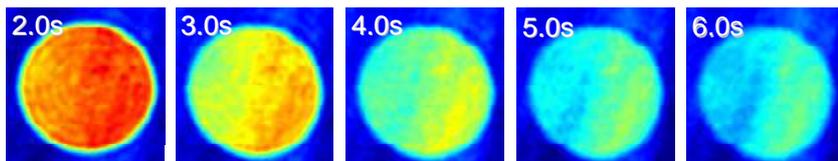


図5-11. 赤血球の溶血現象

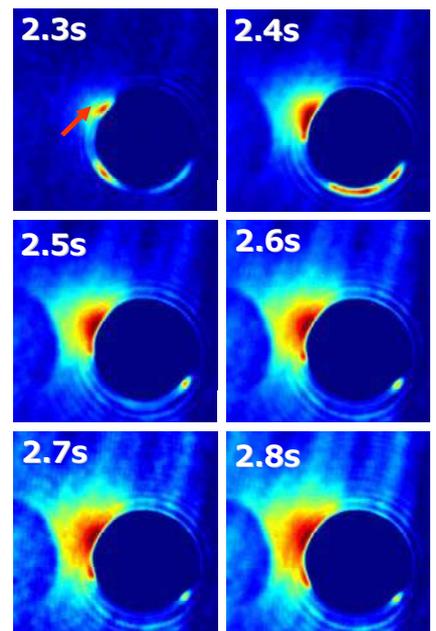


図5-12. ヘモグロビン流出の可視化

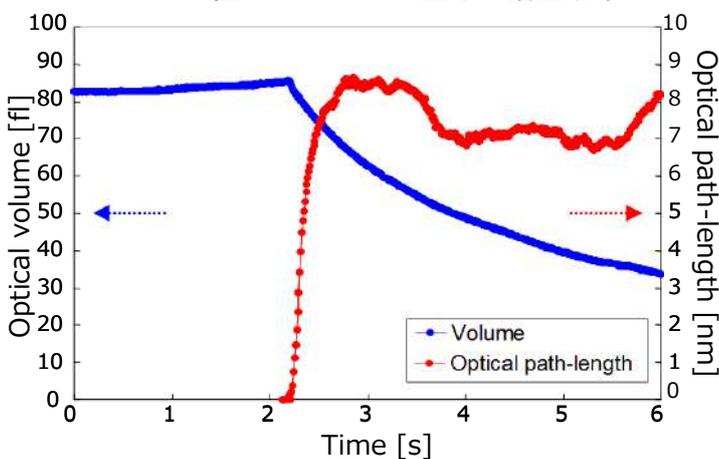


図5-13. 光学的体積値と光学距離値の時間変化

5-5 電気的フィードバック系により安定化された定量位相顕微鏡

図5-13は電気的フィードバック回路により安定化された定量位相顕微鏡である¹¹。回折格子とピエゾ素子PZTを用いた電気的フィードバック系の導入により定量位相顕微鏡の安定化を行っている。ミラーMを用いて、物体波と参照波の一部分を取り出し、回折格子Gに入射させる。図5-14内の拡大図は、物体波の0次光と回折格子Gで回折した参照波の1次光が、等しい角度になるように回折格子を調節している。物体波と参照波が同軸になることで、空間周波数の低い明暗の干渉信号が得られる。この干渉信号の強度が、物体光と参照光の位相差信号に相当する。干渉信号をレンズで集光して、フォトダイオードPDで取得することにより、コントラスト高い位相差信号が取得できる。得られた位相差信号は電気回路に入力され、物体光と参照光の位相差を常に一定に保持する電気信号を生成して、ピエゾ素子を変調することにより、定量位相顕微鏡の安定化を行う。

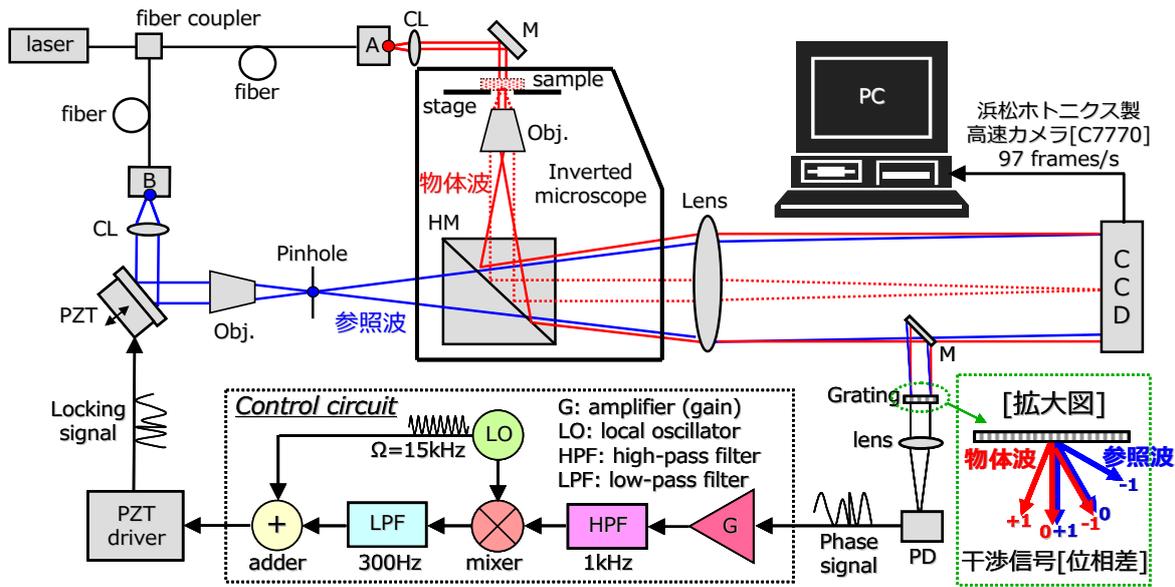


図5-14. 電気的フィードバック回路により安定化された定量位相顕微鏡

以下に、ピエゾ素子のフィードバック制御用電気信号の生成方法に関して記述する¹²。ハーフミラーHM後の物体光 E_o と参照光 E_R は、式5-3と式5-4で表される。

$$E_o = A_o e^{i(\omega t + \phi_o)} \tag{5-3}$$

$$E_R = A_R e^{i(\omega t + \phi_R)} \tag{5-4}$$

ここで、 A_o と A_R は物体光と参照光の振幅値、 ω はレーザー光源の角周波数、 ϕ_o と ϕ_R は物体光と参照光の位相である。今、物体光と参照光が等しい角度で重なりあった場合の光強度は、式5-5で表される。

$$I = |E_o + E_R|^2 = |E_o|^2 + |E_R|^2 + 2A_o A_R \cos \phi \tag{5-5}$$

ここで、参照光と物体光の位相差 $\phi = \phi_o - \phi_R$ であり、 ϕ_o と ϕ_R はそれぞれ外乱に対して独立に変動している。外乱による干渉縞の変動を無くするためには、式5-5の光強度 I を一定値にする必要があり、位相差 ϕ が常に一定値であれば良い。

今、ローカルオシレーターLOを用いて振幅値 β 、周波数 Ω の信号をピエゾ素子に入力すると、参照光は変調を受けて式5-6で表せる。

$$E_{PM} = A_{PM} e^{i(\omega t + \beta \sin \Omega t)} \tag{5-6}$$

変調信号の振幅値 β が、変調された参照光の振幅値 E_{PM} と比べて十分に小さい場合、式5-7で近似することができる。

$$E_{PM} \cong E_{PM} [J_0(\beta) + 2iJ_1(\beta)\sin \Omega t] e^{i\omega t}$$

$$= E_{PM} [J_0(\beta)e^{i\omega t} + J_1(\beta)e^{i(\omega+\Omega)t} - J_1(\beta)e^{i(\omega-\Omega)t}] \quad - (5-7)$$

ここで、 $J_0(\beta)$ と $J_1(\beta)$ はベッセル関数である。次に、物体光とピエゾ素子で変調された参照光が同じ角度で重なりあった際の光強度 I_{PM} は、式5-8で表される。

$$I_{PM} = |E_o + E_{PM}|^2$$

$$= E_o^2 + E_{PM}^2 J_0^2 + 2E_{PM}^2 J_1^2 - 2E_o E_{PM} J_1 \sin \phi + 2E_o E_{PM} J_1 \cos \phi \sin \Omega t \quad - (5-8)$$

ここで、式5-8は直流成分と交流成分から構成され、それらを I_{DC} と I_{AC} で示すと、式5-9と式5-10で表される。

$$I_{DC} = E_o^2 + E_{PM}^2 J_0^2 + 2E_{PM}^2 J_1^2 - 2E_o E_{PM} J_1 \sin \phi \quad - (5-9)$$

$$I_{AC} = 2E_o E_{PM} J_1 \cos \phi \sin \Omega t \quad - (5-10)$$

ハイパスフィルターHPを用いて式5-10の交流成分 I_{AC} のみを取り出し、ピエゾ素子を変調する高周波信号 $\sin \Omega t$ とミキサMにて積算すると、式5-11で表される。

$$I_{AC} \sin \Omega t = 2E_o E_{PM} J_1 \cos \phi \sin \Omega^2 t$$

$$= E_o E_{PM} J_1 \cos \phi - E_o E_{PM} J_1 \cos \phi \cos 2\Omega t \quad - (5-11)$$

式5-11の第一項目は物体光と参照光の位相差 ϕ 、第二項目は高周波数成分を含んでいる。

次に、ローパスフィルターLPを用いることにより、第一項目の物体光と参照光の位相差 ϕ が得られる。位相差 ϕ とピエゾ素子変調用の高周波信号 $\sin \Omega t$ を加算することにより電気信号が生成される。この電気信号を用いて、ピエゾ素子をフィードバック制御することにより、物体光と参照光の位相差 ϕ を一定値に収束できる。以上の方法により、外乱による干渉縞の変動を無くすこと可能である。

図5-15はフィードバック系により安定化された定量位相顕微鏡のノイズ特性を示している。定量位相画像の時間方向ノイズは、式5-12の差分標準偏差値 P_Δ で評価した。フィードバック系動作無し場合、平均値1.91nm、標準偏差値0.61nm、フィードバック系動作有りの場合、平均値1.39nm、標準偏差値0.05nmとなった。平均値で1.5倍程度、標準偏差値で12倍程度の改善が確認できた。

$$P_\Delta = \sigma [P_t(x, y) - P_{t-1}(x, y)] \quad - (5-12)$$

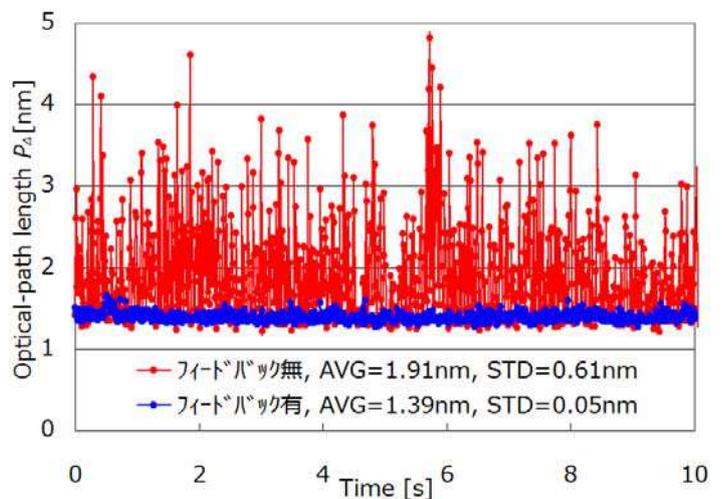


図5-15. 定量位相顕微鏡の安定化

5-6 コモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡

図5-16は、コモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡である¹³。顕微鏡によりIP面上に拡大結像された物体光は回折格子Gにより分離され、レンズL₁により空間フィルターSF上にそれぞれ集光される。1次回折光波面は、試料の位相情報を保持したまま空間フィルターSF上の開口部+1を通過し、レンズL₂にてCCD素子上に再結像される。もう一方の0次回折光波面は空間フィルターSF上のピンホール部0にて点光源に変換され、レンズL₂で平面参照波となり、両者はCCD素子上で重なり合い、ホログラム画像を形成する。物体波と参照波は等しい光路を通過するコモンパス光学系であるために、振動等の外乱に影響されない定量位相顕微鏡を構築することが可能である。

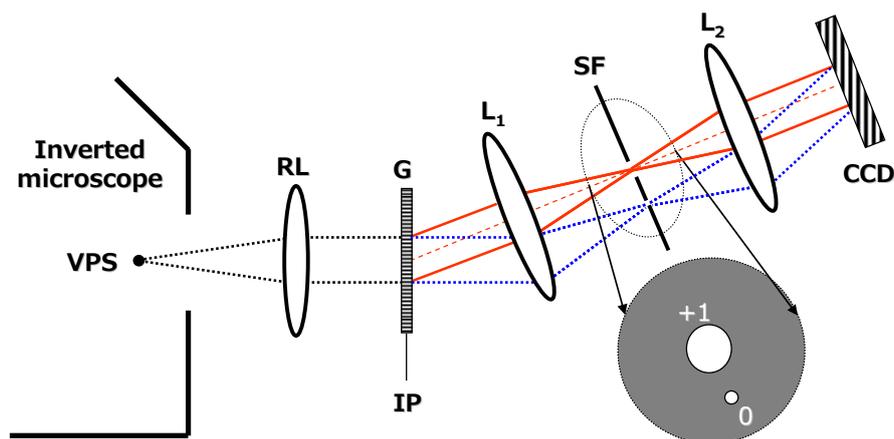


図5-16. コモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡

図5-15に、フィードバック系とコモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡のノイズ特性を示す。前節と同様に、式5-12の差分標準偏差値 P_{Δ} で評価した。フィードバック系とコモンパス光学系のいずれにおいても、定量位相顕微鏡の安定性向上を確認した。コモンパス光学系の方が位相画像の時間差分標準偏差値 P_{Δ} の平均値は低く、標準偏差値は両者とも同程度であった。

ここで、時間差分標準偏差値 P_{Δ} の平均値は、測定の奥行き分解能と関係し、時間差分標準偏差値 P_{Δ} の標準偏差値は測定の安定性と関係している。

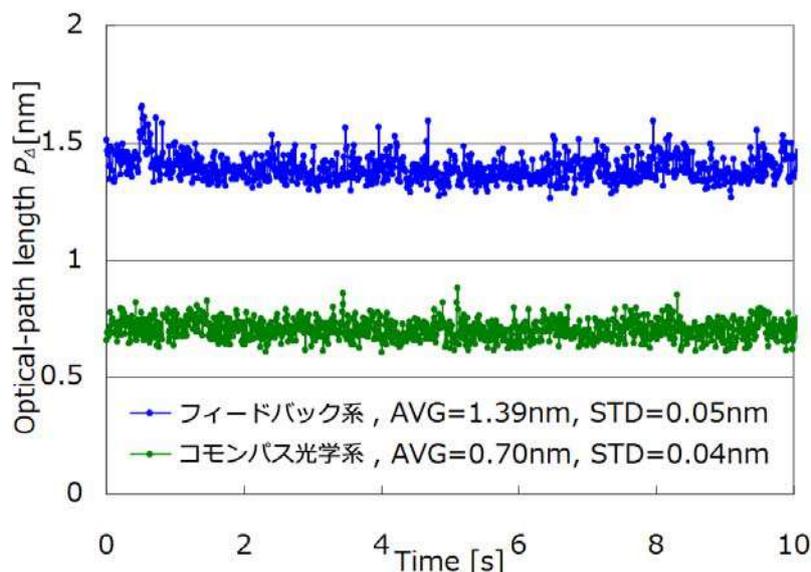


図5-17. フィードバック系とコモンパス光学系のノイズ比較

5-7 電気的フィードバック系とコモンパス光学系の性能比較

表5-1は、安定化していない定量位相顕微鏡と、電気的フィードバック系及び、コモンパス光学系を導入した定量位相顕微鏡の性能を比較したものである¹⁴。

- ①安定性：振動などの外乱に対する安定性について、前者と後者共に向上した。
- ②画質：定量位相画像の画質について、前者は安定性の向上により高い。後者は光を分離する回折格子の面精度の問題により低い。
- ③操作性：装置の操作性について、前者は位相差信号を取得するために回折格子の調整及び電気回路の調整などが発生し低い。後者はピンホール部のみの調整であるために高い。
- ④部品数：装置の部品数について、回折格子、電気回路、ピエゾ素子などが増加する。後者は参照波の導入の必要性がなく減少する。
- ⑤コスト：コスト面について、前者は高額なピエゾ素子や電気回路を要するために高い。後者は高額な部品は少なく低い。
- ⑥光量：測定されるホログラムの光量について、前者は同様である。後者はピンホール部による点光源への変換の際に、光量損失が発生するために低い。
- ⑦干渉性：干渉性について、前者は同様であるが、後者はコモンパス系であるために、光路長が等しく干渉性は非常に高い。

以上のように、フィードバック系とコモンパス光学系の両者は、それぞれの良し悪しがあり、実用化には、それぞれの問題点を解決する必要がある。

表5-1. 定量位相顕微鏡の性能比較

	定量位相顕微鏡	フィードバック系	コモンパス光学系
①安定性	△	○	○
②画質	○	◎	△
③操作性	○	△	◎
④部品数	○	△	◎
⑤コスト	○	△	◎
⑥光量	○	○	△
⑦干渉性	○	○	◎

5-8 まとめ

本章では、マサチューセッツ工科大学スペクトロスコーピー研究所の客員研究員時代に研究したホログラフィーの測定応用について述べた。光干渉技術であるホログラフィーを用いて、生物細胞を非侵襲且つ非接触で高速高精度に定量情報を測定できる定量位相イメージング技術を倒立顕微鏡に導入した定量位相顕微鏡について詳述した。

定量位相顕微鏡を用いて血球細胞の3次元構造及び、赤血球溶血時に細胞内部からヘモグロビンが外部へ流出する様子をミリ秒且つナノメートル精度で測定した結果について詳述した。

回折格子とピエゾ素子を用いた電氣的フィードバック系の導入による定量位相顕微鏡の安定化、コモンパス干渉光学系の導入による定量位相顕微鏡の安定化を行い、両者について比較することにより、定量位相顕微鏡の実用化に関する知見を得た。第7章で述べる測定機器を開発するきっかけとなっている。

謝辞

本実験結果は、浜松ホトニクス(株)中央研究所からマサチューセッツ工科大学スペクトロスコピー研究所への派遣期間に得た成果である。共同研究者の G.Popescu 博士、M.S.Feld 所長に感謝の意を表す。また、留学の機会を与えて下さった浜松ホトニクス(株)晝馬輝夫社長、鈴木義二所長に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] F. Zernike, Science 121, 345 (1955).
- [2] Allen RD, Allen NS, " Video-enhanced microscopy with a computer frame memory" , J. Microsc., 129 (Pt.1), 3-17 (1983).
- [3] T. Ikeda, G.Popescu, R.Dasari, M.S.Feld, Hilbert phase microscopy for investigating fast dynamics in transparent systems, Opt. Lett., 30, pp.1165-1167 (2005).
- [4] D. Gabor, J. Inst. Electr. Eng. 93, 329 (1946).
- [5] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, 7th ed. (Cambridge U. Press, Cambridge, 1999), p. 557.
- [6] M. Takeda, H. Ina, and S. Kobayashi, J. Opt. Soc. Am. 72, 156 (1982).
- [7] T.Yamauchi, H.Iwai, M.Miwa, Y.Yamashita, "Measurement of topographic phase image of living cells by white-light phase-shifting microscope with active stabilization of optical path difference", Proc. of SPIE 6429-61 (2007).
- [8] G.Popescu, T.Ikeda, R.Dasari, M.S.Feld," Erythrocyte structure and dynamics quantified by Hilbert phase microscopy" , J. Biomed. Opt. Lett., Vol. 10, 060503 (2005).
- [9] N. Lue, G. Popescu , T.Ikeda, R.R.Dasari, K.Badizadegan and M.S.Feld, "Live cell refractometry using microfluidic devices", Opt Lett, 31, pp.2759-2761 (2006).
- [10]N. Lue, W. Choi, G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Quantitative phase imaging of live cells using fast Fourier phase microscopy" , Appl. Opt. 32, 811 (2007).
- [11]G. Popescu, T. Ikeda, K. Goda, C. A. Best-Popescu, M. L. Laposata, S. Manley, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Optical measurement of cell membrane tension", Phys. Rev. Lett., 97, 218101 (2006).
- [12]R.W. P. Drever, J. L. Hall, and F.V. Kowalski et al., Appl. Phys. B 31, 97 (1983).
- [13]G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari and M. S. Feld, "Diffraction phase microscopy for quantifying cell structure and dynamics", Opt Lett, 31, pp.775-777 (2006).
- [14]池田貴裕, "フィードバック系及びコモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡", Proc. of 39th Meeting on Lightwave Sensing Technology, 22, (2007).

第Ⅲ部

起業実践編：経営者の立場

第6章 パイフォトニクス株式会社の概要

本章では、パイフォトニクス株式会社の設立経緯と2009年7月末時点での会社概要について示す。

6-1 設立経緯

パイフォトニクス株式会社は、2006年10月に光産業創成大学院大学内で設立された。記事6-1に示されるように、設立者の池田貴裕は、「自分の研究成果を自分の手で事業化したい」と浜松ホトニクス株式会社入社当時から思いを抱いており、光産業創成大学院大学が夢を実現するのに格好の場所だと判断し入学している。入学時のビジネスプランは、最先端の医療技術として注目されている「細胞診断」を実施するのに必要な情報を、細胞に光を照射して引き出す技術の事業化である。

図6-1に入学当初に計画した事業化スケジュールを示す。短期間の内に、試作、改良、製品化、販売を行い、新製品の開発を行う計画となっている。事業概略として、「光医療・バイオ分野の生物学者や光産業・半導体分野の技術者に対して、生物細胞や光学素子の様に透明な位相物体をサブナノメートル精度で非侵襲且つ動的に3次元構造を測定できる定量位相顕微鏡を提供する。その他、細胞解析・診断ソフトウェア、光ピンセットや波面成形モジュール及び3次元表示可視化装置の提供を行う。これら製品は市場規模2000億円の医療研究、光産業分野に販売される。将来は生物細胞の機能解明を行い人類の健康に関する産業創成を目指す。」と示されている。

記事6-1に記載されるように、大学での半年間の講義で経営に必要なことを勉強して起業する計画であった。しかし、大学の講義を受けて起業に近づくにつれて、自分の周辺環境に人・物・金のいずれも備わっていないことが明白になってきた。本人にとって、起業すること自体が未知未踏であり、さらに、その先にある未来については、全く何も見えない真っ暗闇な状態であった。結局、起業のきっかけは、「計画通り入学半年後に会社を設立する」ことであった。こうした状況の中、パイフォトニクス株式会社を2006年10月2日に設立したが、不安は募る一方で精神的うつ状態に陥っていく。しかし、2006年12月に光産業創成大学院大学の理事長晝馬輝夫からの一言により、何かが吹っ切れたのか「出来ないと言わずにやってみよう」と心を入れ替え、邁進し始めた。

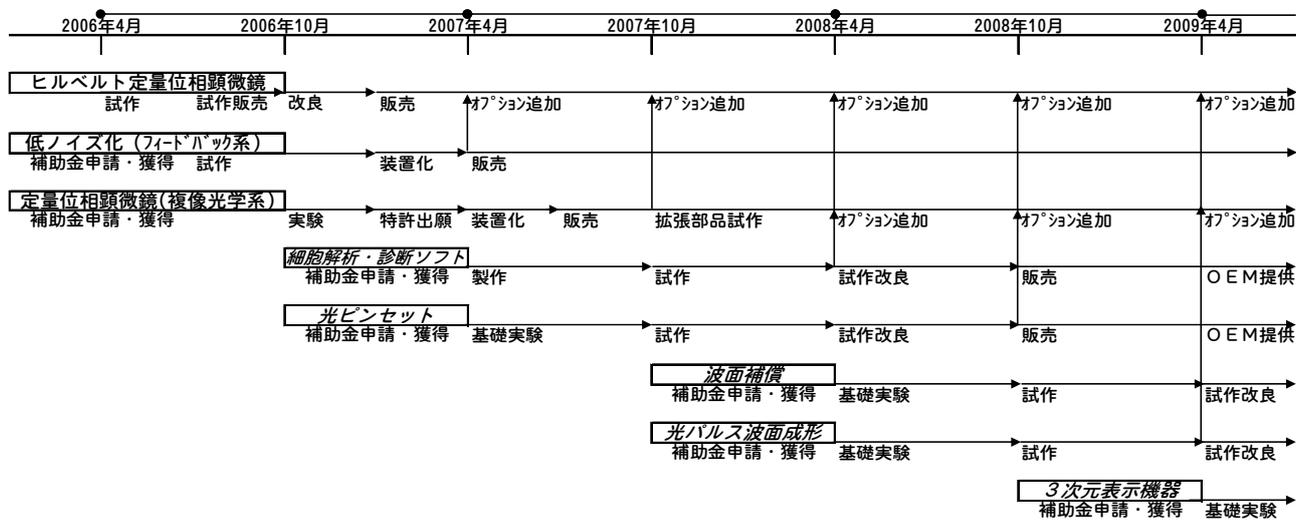


図6-1. 入学当初の事業計画 [定量位相顕微鏡と周辺機器開発]

記事6-1. 日本経済新聞 [2006年6月16日付37面]

浜松ホトニクスなどが光技術を用いた起業家を育成するために設立した「光産業創成大学院大学」が、開学二年目を迎えた。学生にベンチャー企業を設立させ、大学がその活動を支援する試み。だが、思うように学生が集まらないほか、研究設備が不足するなど環境面での課題も浮かび上がってきた。起業家を羽ばたかせるには、まだ時間がかかりそうだ。

集まらぬ人数

「自分の研究成果を自分の手で事業化したい」。浜松ホトニクス入社時から「こんな思いを抱いていた池田貴裕氏(30)は、同大学が夢を実現するのに格好の場所だと判断し、今春入学した。

起業家育成の大学院大学 2年目

成功の方程式 道険しく

池田氏のテーマは、最先端の医療技術として注目されている細胞診断を実施するのに必要な情報を、細胞に光を照射して引き出す技術の事業化。まず経営に必要なことを勉強し、「早ければ秋には会社を設立したい」と目を輝かせる。今年入学した二期生は池田氏を含めて七人。すでに二人が会社を設立するなど、個々の学生は健康など、日々の学生生活に満足している。しかし、人数が大学の期待ほど集まらな



学生も「成功例を早く出すことが重要だ」と認識している(大学図書館で勉強中の池田貴裕氏)

い。当初年間十五人を見込んでいたが、一期生は九人で、今年はさらに減った。大学の理事長を務める昼馬輝夫・浜松ホトニクス会長兼社長は「企業が増えることを期待しているが、今年は会社に在籍したまま入学した学生は四人。しかも池田氏など、一年間一千万円近い出費がある」と打ち明け、費用、事業に必要な経費などのように浜ホト社員が二人、浜ホトと資本・業務提携しているエンシェンツで、大学側は費用を賄うが一人だ。大学の理事長を務める昼馬輝夫・浜松ホトニクス会長兼社長は「企業が増えることを期待しているが、今年は会社に在籍したまま入学した学生は四人。しかも池田氏など、一年間一千万円近い出費がある」と打ち明け、費用、事業に必要な経費などのように浜ホト社員が二人、浜ホトと資本・業務提携しているエンシェンツで、大学側は費用を賄うが一人だ。

費用負担や設備重く

自動車など三十五社の大手企業が資金を寄付している。同大学に関心の高いこれら企業からの派遣を増やすためにも「まず成功例を生み出したい。そうすれば、ヒトを出そうという企業も増えてくるだろう」。昼馬理事長はこう期待するが、世間の注目を集めるようなベンチャー起業家の姿はまだみえない。

「昨年の秋ごろにはもう大学を辞めようと思っただ」。一期生で最年長の吉門章氏(61)の言葉を聞くと、研究環境を整えるために「我々進めたい研究開発環境を整える必要がある。具体的要求をしてくれな(浜松支局 小口道徳)らば」と訴える。吉門氏は入学前からレーザー光を使ってレジスト(感光材)を剥離(は)く(「資金集めには最適な環境」)する技術で業界から注目されており、大学側では最初に起業する学生一人とみている。本人も今年三月までには製品を発売する計画だった。しかし、必要な部品の開発の遅れなどで、予定が延びた。一人でも成功例が出れば、ヒトだけでなく、実験設備のようなモノも最先端の情報も、企業から提供したいという声が出てくるだろう。この成功の方程式を一刻も早く成り立たせるためにも、学生と教員、大学事務局がスクラムを組み、周囲の期待に恥じない先進的な研究開発環境を整える必要がある。



静岡岡

静岡岡 054-253-7191
浜松 053-452-8593



6-2 会社概要

表6-1は、パイフォトニクス株式会社の会社概要である。

表6-1. パイフォトニクス株式会社の会社概要

商号	パイフォトニクス株式会社 [英語表記 Pi Photonics, Inc.]
所在地	静岡県浜松市中区和地山三丁目1番7号 浜松イノベーションキューブ107号室
連絡先	TEL. 053-489-5783 FAX. 053-489-5784
設立年月日	2006年10月2日
資本金	8,400,000円
決算期	9月
代表者	代表取締役 池田 貴裕
業種	光学機械器具製造販売業
取引銀行	りそな銀行 浜松支店 浜松信用金庫 湖東支店 静岡銀行 可美支店

社名パイフォトニクス株式会社の「パイ」の由来は、ギリシャ文字のパイ [π, Π, pi] である。小文字のπは、数学記号で円周率を示す無限に続く数字であり、会社永続を意味する。大文字のΠは、式6-1に示す数学記号で集合の積を表す。ちなみに、数学記号のΣは式6-2に示す集合の和を表す。このように、パイフォトニクスのパイは、それぞれの要素を積算していく「融合」を意味する。

$$\prod_{i=m}^n a_i = a_m \times a_{m+1} \times \dots \times a_n \quad - (6-1)$$

$$\sum_{i=m}^n a_i = a_m + a_{m+1} + \dots + a_n \quad - (6-2)$$

英語表記のPi Photonicsは略して、P i P [ピー・アイ・ピー]と読む。

P I Pとそれぞれのアルファベット文字は、下記の意味を持っている。

P : Products [製品]

i : integrated [融合]

P : Photonics [光技術]

P i P : Products integrated Photonics [光技術を融合した製品]

図6-2は、パイフォトニクス株式会社のロゴマークである。

表示応用と測定応用に関する2つの光技術 [P] を融合 [i] することをイメージして作成された。



図6-2. パイフォトニクス株式会社のロゴマーク

6-3 企業理念

図6-3は、パイフォトンクス株式会社の企業理念を表している。

パイフォトンクス株式会社の中心となる価値観は「融合」である。私達は人に優しい光技術を融合した製品の提供を通じて、ヒトと社会のネットワークを融合し、地球に貢献します。工業・起業の街である浜松市から最先端の光技術を内外共に発信し続けることにより、社会におけるシーズとニーズの融合に寄与します。光技術を用いた新市場の形成を通じて、光産業の創成を目指し、行く末は人類に新しい文化をもたらすことをビジョンとします。ホログラフィー応用による表示技術と測定技術に関する光技術シーズと社会ニーズの融合により光産業創成を目指します。



図6-3. パイフォトンクス株式会社の企業理念

図6-4は、パイフォトンクス株式会社の経営理念を表している。

既存分野にこだわらず、新しい分野に新しい市場を開拓することを経営理念としており、人に優しい光技術を融合した製品を人に易しく提供することにより新市場開拓を目指します。

人に優しい光技術を融合した製品を人に易しく提供

PiP : Products integrated Photonics



図6-4. パイフォトンクス株式会社の経営理念

6-4 代表者経歴

図6-5の代表取締役 池田貴裕の経歴を表6-2に示す。以下に、実務実績について示す。

表6-2. 代表者の経歴

1994年3月	和歌山県立耐久高等学校 卒業
1998年3月	徳島大学工学部光応用工学科 卒業
2000年3月	徳島大学大学院光応用工学専攻 修了
2000年4月	浜松ホトニクス株式会社 入社 人材養成室員
2001年4月	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 研究員
2004年5月	マサチューセッツ工科大学 派遣 客員研究員
2006年1月	浜松ホトニクス株式会社中央研究所 復帰
2006年4月	光産業創成大学院大学 入学 博士後期課程
2006年10月	パイフォトニクス株式会社 設立 代表取締役
2006年12月	第20回高柳研究奨励賞 受賞
2008年11月	日本バ イメージング学会 バストイメージ・晝馬賞 受賞
2009年6月	第14回画像センシングシンポジウム 優秀学術賞 受賞



図6-5. 代表取締役 池田貴裕

実務実績

2000年4月～2004年5月

浜松ホトニクス株式会社では、主にホログラム技術を用いた人に優しい3次元表示装置の実用化を目指して研究開発に従事した。二次元の計算機ホログラムに三次元情報を記録すると、ホログラムの記録情報量の飽和が生じるが、それを解決する独自の新しいホログラム計算方法を確立した。試作機として、小型なヘッドマウントディスプレイ型ホログラフィックディスプレイである「ホログラムゴーグル」を開発し、フotonフェア2004にてデモ展示を行った。

2001年5月～2005年12月

マサチューセッツ工科大学では、生きている生物細胞の解析のために「生物に対して優しい光干渉技術」であるホログラフィーを用いて、「非侵襲」、「非接触」、「定量性」、「動的観察」、「高精度」の要素を満たす定量位相顕微鏡の研究開発に従事した。生物細胞のような透明な物体を通過してきた光の位相情報は物体の3次元構造情報を持っており、物体光と参照波の干渉現象によりホログラムを生成・取得・解析することにより、物体の定量的な位相情報を取得することができる。実際に、定量位相顕微鏡を開発し、血球細胞の測定及び解析を行った。生物細胞以外では、光ファイバー、微量水滴、高出力レーザー結晶、平面光導波路などのガラス材料の測定を行い、生物細胞以外でも定量位相顕微鏡が有効なことを確認した。

2006年4月～現在に至る

浜松ホトニクス株式会社から光産業創成大学院大学へ留学し、博士後期課程の学生として光産業創成に関する研究を行う傍ら、パイフォトニクス株式会社の代表取締役として起業実践に従事し、ホログラフィー応用に関する新市場の形成を目指した事業化開発を行っている。

6-5 会社沿革

表6-3は、パイフォトニクス株式会社の沿革である。製品化、助成補助事業採択、増資、事務所移転などに関する情報を示している。

表6-3. パイフォトニクス株式会社の沿革

2006年10月	パイフォトニクス株式会社 設立 資本金100万円
2007年3月	定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービス 開始
2007年4月	H19年度 しずおか産業創造機構 創業者等研究開発助成事業 採択
2007年6月	定量位相イメージングユニット 開発
2007年8月	H19年度 浜松商工会議所 F/S 支援事業 採択
2007年10月	ホログラム用照明装置 ホロライト HOLORE-it!®開発
2007年11月	H19年度 浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業 採択
2008年4月	パイフォトニクス株式会社 ホームページ 開設
2008年6月	H20年度 浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業 採択
2008年7月	資本金840万円に増資
2008年10月	本店事務所を浜松イノベーションキューブへ移転
2009年4月	しずおか産業創造機構 TRC 研究開発助成事業 採択
2009年6月	静岡県/平成21年度 経営革新計画 承認

6-6 会社所在地

図6-6は、パイフォトニクス株式会社の所在地を示している。現在、入居している浜松イノベーションキューブ [HI-Cube] は、(独)中小企業基盤整備機構が運営するインキュベーション施設である。本施設には、インキュベーションマネージャーが常駐し、静岡県・浜松市・経済産業省及び各支援機関と連携を取りつつ、起業や創業活動、企業の新事業展開等を総合的に支援している。



図6-6. パイフォトニクス株式会社の所在地

6-7 組織体制

図6-7は、パイフォトニクス株式会社の組織体制図である。

取締役1名の取締役会非設置会社である。

意思決定機関である株主総会の決議に基づき、代表取締役が会社の業務を執行している。

現在、株主総数は10名であり、浜松ホトニクス株式会社の社員で構成されている。

一般業務は、総務部、営業部、技術部で行われる。

営業部は、表示機器G、測定機器G、照明機器G、光学設計Gから構成される。

実際は、総務部にパート1名を配置しており、その他は代表取締役が担当している。

ちなみに、組織体制図の構成でPC内に会社情報が整理分類されている。

起業実践において経験した主な内容は、以下の通りである。

総務部

経営：事業計画、助成金補助金の申請書、決算書などの作成、株主総会の開催など

総務：図書、新聞記事、出張申請報告書、出勤簿、辞令、給与支払、給食依頼、その他の雑務など

業務：部材購買、製品出荷、備品管理など

法務：契約書作成（秘密保持、共同研究、特約店）、登記申請（設立、増資、本店移転）など

財務：会計簿記、税務申告、銀行融資、売上分析など

営業部

各営業G：受注、見積書、納品書、請求書の作成、売上集計、顧客情報管理など

広告宣伝：展示会出展、カタログ制作、ホームページ制作など

技術部

研究開発：試作品、改良品の設計及び研究開発など

知的財産：特許、意匠、商標の検討出願登録など

外部発表：学会、研究会での発表、紹介記事の執筆など

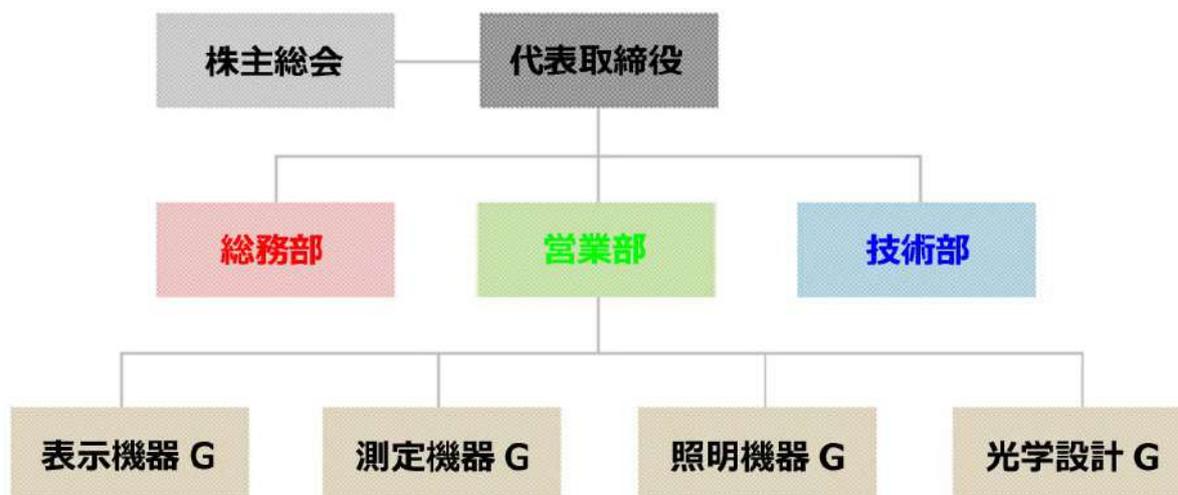


図6-7. パイフォトニクス株式会社の組織体制図

6-8 事業内容

パイフォトニクス株式会社の事業内容は、表示機器、測定機器、照明機器に関する3つの事業に分けられる。それらの事業に該当しないものや特注品については、光学設計Gで対応する。以下に、各事業内容について示す。測定機器事業は第7章、照明機器事業は第8章で詳述する。なお、表示機器事業に関しては、秘密保持の関係により、本論文では省略している。

表示機器事業

- ・ 計算機ホログラム素子の設計開発

測定機器事業

- ・ 定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービス
- ・ 定量位相イメージングユニットの製造販売
- ・ 定量位相顕微鏡システムの製造販売

照明機器事業

- ・ 高指向性LED照明装置「ホロライト HOLORER - i t !」の製造販売

6-9 外部発表

本節では、パイフォトニクス株式会社の起業実践について外部発表した7件について示す。

また、記事6-2は、記事6-1から約2年後に掲載された新聞記事である。

[1] 2008年1月31日（口頭発表）

池田貴裕，“起業実践による光産業創成に向けて”，浜松メッセ2008イノベーションビジネスマッチング(2008).

[2] 2008年3月1日（口頭発表）

池田貴裕，“ホログラム技術応用による光情報の表示・計測・処理について”，第1回光計算研究会(2008).

[3] 2008年6月7日（口頭発表、査読付）

池田貴裕，“起業実践による光産業創成”，経営情報学会2008年春季全国研究発表大会（2008）.

[4] 2008年6月18日（口頭発表、招待講演）

池田貴裕，“パイフォトニクス株式会社 - 起業実践による光産業創成 -”，光交流会（2008）.

[5] 2008年9月25日（口頭発表）

池田貴裕，“ホログラム応用による起業実践”，情報フォトニクス研究会秋合宿（2008）.

[6] 2008年11月21日（口頭発表）

池田貴裕，“ホログラフィー応用による起業実践を通じた事業化研究”，光産業創成大学院大学説明会（2008）.

[7] 2009年6月26日（セミナー講師）

池田貴裕，“起業実践を通じた起業家精神の獲得”，広島市立大学第5回アントレプレナーシップ・セミナー&第1回創造科学セミナー合同企画講演（2009）.

6-10 まとめ

本章では、2006年10月に光産業創成大学院大学内で設立したパイフォトニクス株式会社の設立経緯、2009年7月末時点における会社概要について示した。パイフォトニクス株式会社の会社概要として、企業理念、代表者経歴、会社沿革、会社所在地、組織体制と事業内容について示した。起業実践について7件の外部発表と、起業前に掲載された新聞記事と、2年後に掲載された起業後の新聞記事について示すことにより、事業化開発の進展を把握することができた。

記事6-2. 日本経済新聞 [2008年6月11日付35面]

ずおか奈 ははたく実力派

パイフォトニクス

《会社概要》

- ▽本社所在地 浜松市西区呉松町 1955-1
- ▽設立時期 2006年10月
- ▽主な製品 LED光源装置、定量位相イメージングユニットなど
- ▽売上高 約1000万円 (08年9月期見込み)

光源装置は、直進性を向上させて精密なホログラムを浮かび上がらせるよう池田氏が試作した機器が原型だ。

数百以内でも一点を照らせる優れた直進性に加え、消費電力はハロゲンランプの数の分の一。この特徴が照明機器メーカー

の目にとまり、建築物のライトアップ用などに注文が舞い込んでいる。この技術を利用し、新製品の共同開発の話も寄せられているという。

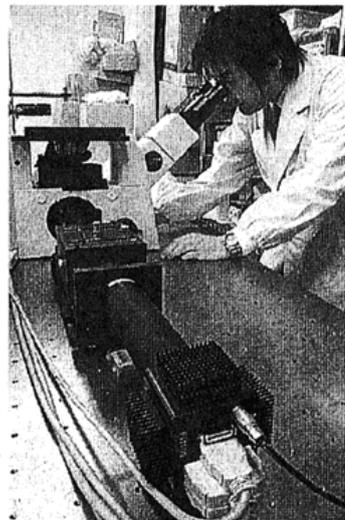
光源装置は第一号製品として他の企業を引き付けた効果は大きい。ホログラム技術自体を応用した商品開発も進む。



池田貴裕社長

その一つが池田氏が籍を置く浜松ホトニクスと共同で開発した定量位相イメージングユニットだ。通常の光学顕微鏡に

ホログラム技術 活用



パイフォトニクスが開発した定量位相イメージングユニット（手前の黒い筒状の装置）

後付けすることで、従来は開発された。浜ホトがは困難だった透明な細胞を開発した高速度カメラで生きのまま観測し、このしま模様を撮影し、積や密度、形状などのデータを生きたまま観測し、体積や密度を算出する仕事を計測できる。

ユニットは細胞などの対象物を透けてきた光を顕微鏡としては一台五計測する。光は透過した百万円程度と比較的低価格の密度に応じて波長をズレが発生する。この波長のズレをしま模様に変換、計測しやすくする技術を応用してユニットとして、同社が立ち上げ

た光産業創成大学院大学に入学。「開発から販売まですべてを自分で手掛けて製品を世に出したい」との思いから、自身の全額出資で一昨年、ベンチャーを設立した。

現在、浜ホト社員と経営者の二足のわらじをはくが、来年三月の卒業後には総務部門と技術開発部門に一人づつ従業員を雇い、事業を拡大する方針。浜ホト側もパイフォトニクスの将来性に着目して「何らかの形で支援したい」と語るが、両者の協議で今後どのような形で会社を離陸させることになるのか。同社は大きな転機を迎えている。

だが、行政や金融機関の後押しもあり、受託開発の仕事を受注。徐々に会社は機能し始めた。浜松市の補助金制度を利用してLED光源装置を開発するなど、多方面の支援を受けながら製品開発を進みつつある。

静岡岡

静岡岡 054-253-7191
浜松 053-452-8593

第7章 測定機器の事業化開発

本章では、パイフォトンクス株式会社の測定機器の事業化開発について述べる。

7-1 背景と目的

近年、医療・バイオ分野において、創薬開発や化学物質の安全性評価を目的として、生きたままの状態でタンパク質・化学物質等と生物細胞との相互作用を定量的に観測し、それを解明する基盤技術が求められている。そのために、細胞運動を動的にかつ定量的に測定する機能が要求されている。定量位相顕微鏡は、光干渉技術を用いて、生物細胞を透過してくる光の位相差を干渉縞であるホログラムを撮像し、画像処理により細胞運動を位相情報として定量できる¹。さらに、振動等の外乱の影響に強いコモンパス光学系と高速カメラを組み合わせることにより、高速・高精度な定量位相画像の取得ができる。細胞内の多様な構造情報は位相情報により識別できるため、本技術を用いて細胞内の動的変化や細胞運動をリアルタイムに観察できる²。

定量位相顕微鏡の原理実証は、第5章ホログラフィーの測定応用で詳述した通り、既に終えており、実用化する上で必要なノウハウを有している。定量位相顕微鏡を既存の光学顕微鏡のオプションユニットとして製品化するためには、振動等の外乱の影響に強く、汎用性が高く、コンパクトで、調整箇所が少なく、使用者が簡単に操作できるコモンパス光学系を採用した定量位相イメージングユニットの試作を行う必要がある。定量位相イメージングユニットは、既存の顕微鏡との結合により、ユーザーの導入コストを抑えることができ、汎用測定装置として普及することが期待できる。

本章では、第5章で述べたホログラフィーの測定応用技術を用いて、透明試料である生物細胞を可視化し、細胞運動・機能の定量化・解析に役立つ定量位相イメージングユニットとそれを組み込んだ定量位相顕微鏡システムの事業化開発を目的とする。事業化開発とは、継続的に製品を提供できる形態を開発することである。図7-1に示すように、本事業は静岡県の医療、創薬、食品開発を加速化する基盤技術として、県西部の製造加工分野などでの製品検査への応用展開が可能である。以上のとおり、光技術を融合した製品の提供を通じて、静岡県内外の産業発展に貢献することを、大きな目的とする。



図7-1. 測定機器事業の構想図

7-2 事業内容と事業計画

本節では、パイフォトンクス株式会社の測定機器の事業内容と事業計画について述べる。

測定機器の事業内容は、以下の通りである。

(1) 定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスの提供

定量位相顕微鏡を用いて、レンズ・光導路・ガラス材料など透明試料の微小な屈折率変化量分布、表面や厚み形状、複屈折による応力歪みなどを高精度に測定及び解析を行う。

(2) 定量位相イメージングユニットの製造販売

簡単に既存の顕微鏡を定量位相顕微鏡に拡張可能な定量位相イメージングユニットを提供する。

(3) 定量位相顕微鏡システムの製造販売

光源、倒立顕微鏡、定量位相イメージングユニット、インテリジェントビジョンシステム、定量位相イメージングソフトウェアを含むコンピュータから構成される定量位相顕微鏡システムを提供する。

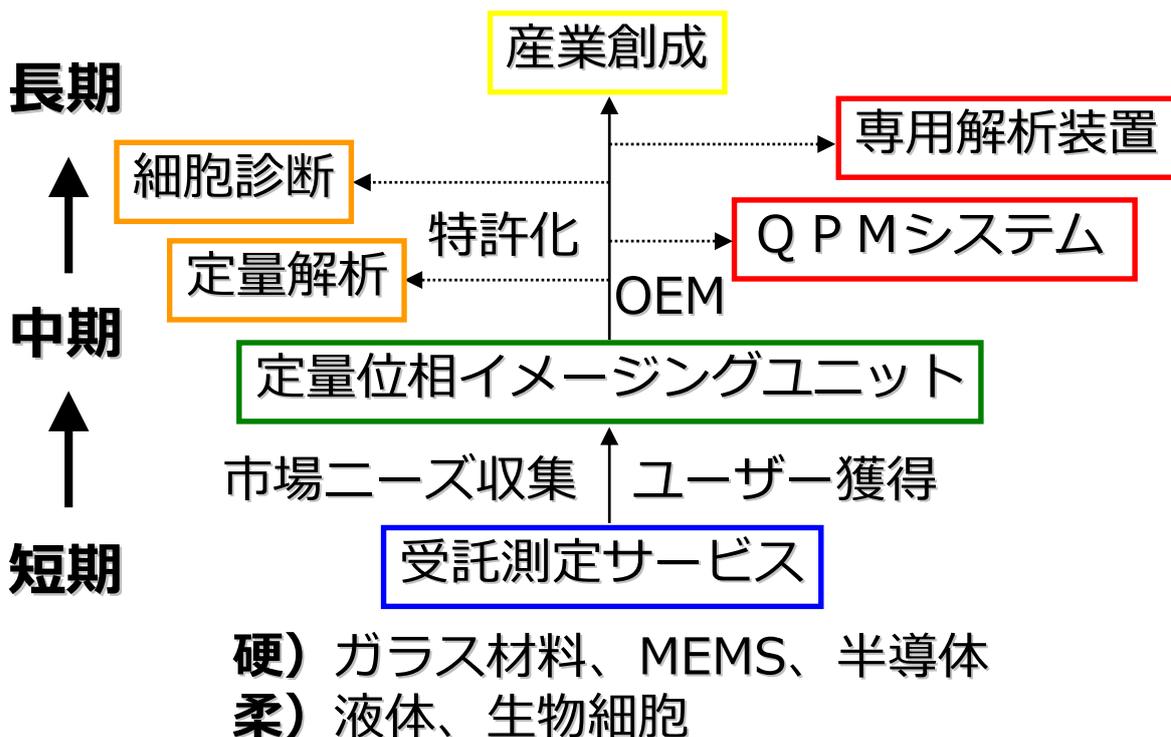
図7-2は、測定機器事業の計画表す図である。

短期的には、受託測定サービスを通じて、市場ニーズの収集及び、ユーザー獲得を行う。対象は、硬い試料〔ガラス材料、MEMS、半導体など〕と柔らかい試料〔液体、生物細胞〕としている。

中期的には、定量位相イメージング〔QPI〕ユニットや定量位相顕微鏡〔QPM〕システムの提供を行い、定量解析技術に関する知的財産権を取得する予定である。

長期的には、得られた細胞診断技術に即した専用解析装置の開発を行い、細胞診断技術及び装置の提供による新産業創成を目指している。

以上、事業化され市場が形成された場合に、予想される市場規模は、受託測定サービスは数千万円、QPIユニットは数億円、QPMシステムは数十億円である。産業創成に必要な市場規模は、数百億円以上であると考えている。



硬) ガラス材料、MEMS、半導体
柔) 液体、生物細胞

図7-2. 測定機器の事業計画

7-3 定量位相顕微鏡によるガラス材料の測定事例

定量位相顕微鏡によるガラス材料の測定事例として①屈折率分布測定、②表面形状測定、③応力分布測定について述べる。さらに、定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスの事例について紹介する。

7-3-1 屈折率分布測定

フェムト秒レーザーをガラス内部に集光した際に生じる二光子吸収現象により、ガラス内部に光導波路が形成される。光導波路を切断研磨した試料を、定量位相顕微鏡を用いて屈折率分布を測定した³。

図7-3は、フェムト秒レーザーを用いて左から順に、加工速度①40mm/秒、②20 mm/秒、③10 mm/秒、④4 mm/秒、⑤2mm/秒で作成された光導波路の屈折率変化量の二次元分布である。加工速度①40mm/秒で最大 4×10^{-3} 程度の屈折率の変化が測定できた。

定量位相顕微鏡は、厚みが一定であるガラス基板内部の屈折率分布を定量的に測定できるために、必要な屈折率変化量に応じた最適なレーザー加工条件を導出することができる。

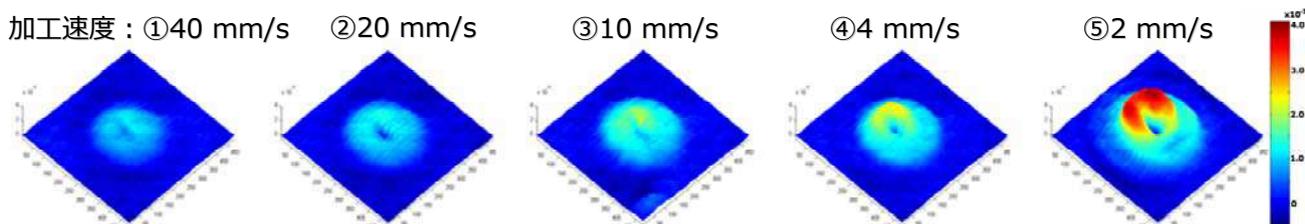


図7-3. フェムト秒レーザー加工によりガラス内部に形成された光導波路の屈折率分布測定

7-3-2 表面形状測定

フェムト秒レーザーをガラス基板面に集光した際に生じるアブレーション現象により、透明なガラス表面に溝加工を施すことができる。定量位相顕微鏡を用いて、ガラス基板の表面形状を測定した⁴。

図7-4①は、フェムト秒レーザーにより加工されたガラス基板である。加工幅は約1mmである。

図7-4②は、図7-4①観察箇所の光学顕微鏡による強度画像である。加工部の縦方向の溝に焦点が合っているが、加工部の横方向の溝は画像がぼけている。よって、加工部の縦方向と横方向の溝の深さが異なることが推定できる。

図7-4③は、定量位相顕微鏡による定量位相画像である。ガラス基板の裏面が平坦であり、屈折率が一定であると考えると、定量位相画像は、ガラス基板の表面形状画像に相当する。このように、加工部の縦方向と横方向の溝の深さが異なることが定量的に測定できる。

図7-4④は、図7-4③の点線部の表面形状である。

定量位相顕微鏡は、試料の厚み形状を測定できるために、必要な加工形状に応じた最適な加工条件の導出、加工品の生産における歩留まり向上に貢献できる。

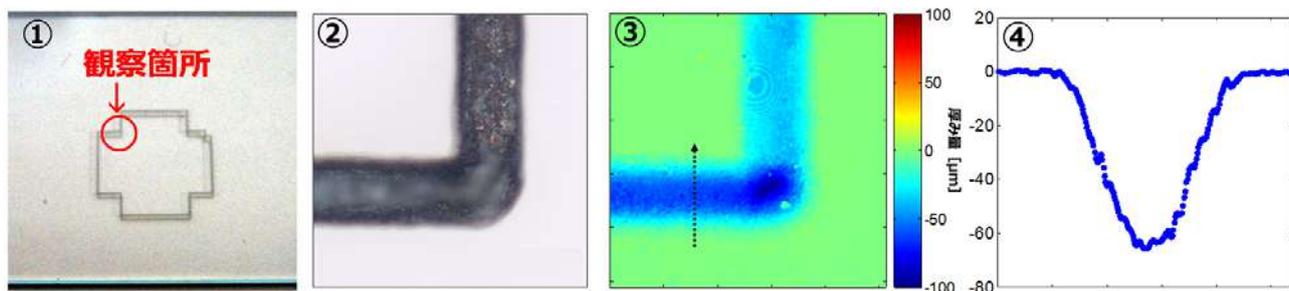


図7-4. フェムト秒レーザーによるガラス表面加工と表面形状測定

7-3-3 応力分布測定

偏波保持ファイバーは、内部にある応力付与部による光弾性効果により複屈折性を有している。定量位相顕微鏡を用いて、直径 $125\mu\text{m}$ の偏波保持ファイバーの内部応力を測定した⁴。

図7-5①と図7-5②は、それぞれ偏波保持ファイバーの遅軸及び速軸方向の定量位相画像である。

図7-5③は、遅軸及び速軸方向両者の定量位相画像を差分して得られた複屈折画像である。この複屈折画像は応力分布を表している。

図7-5④は、計算結果で得られた応力分布画像である。図7-5③測定結果と近い結果である。

定量位相顕微鏡は、透明体内部にある応力歪みを測定することが出来るために、光学素子やレンズ内部に存在する微小な欠陥を見つけることができる。

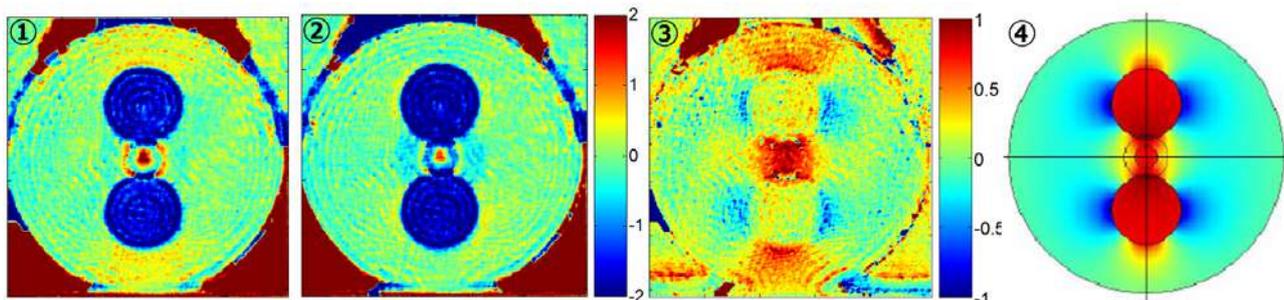


図7-5. 偏波保持ファイバーの複屈折と応力分布測定

7-3-4 受託測定事例

定量位相顕微鏡を用いた受託測定の事例について紹介する。測定試料はフェムト秒パルスレーザーをガラス内部に逐次照射したものである。図7-6は、加工されたガラス試料の測定結果である。図中矢印は、レーザーパルスの進行方向を示している。図7-6上は明視野像、図7-6下は定量位相画像である。詳細については、NEDO「三次元光デバイス高効率製造技術」事業原簿（公開版）⁵を参照されたい。

現在、このような定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスをユーザーに提供している。

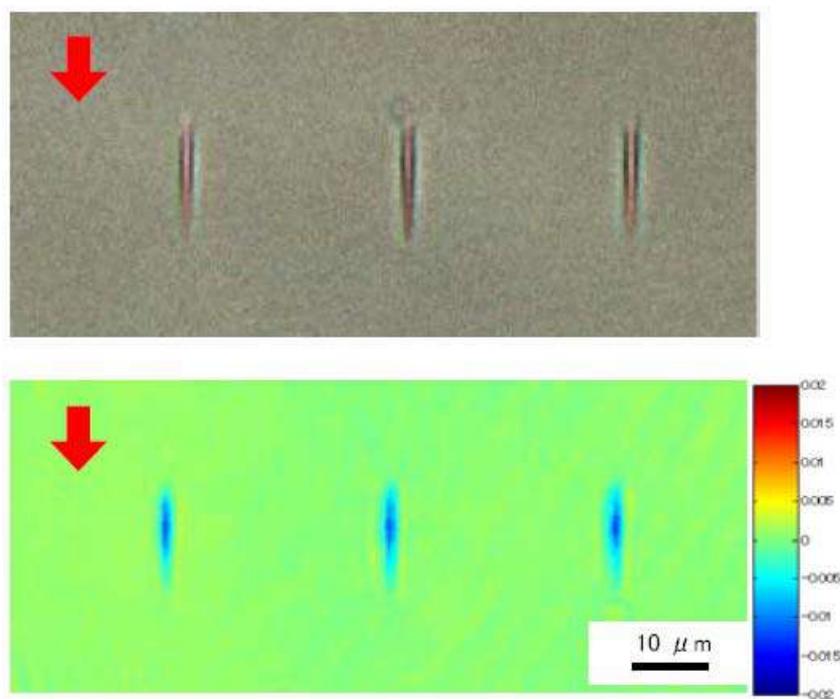


図7-6. 定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスによる測定事例

7-4 定量位相顕微鏡システム

本節では、浜松ホトニクス株式会社中央研究所と共同開発した定量位相顕微鏡システムについて述べる。

7-4-1 定量位相顕微鏡システムの構成

図7-7は、開発した定量位相顕微鏡システムである⁴。定量位相顕微鏡システムは、光源、倒立顕微鏡、定量位相イメージング [QPI] ユニット、インテリジェントビジョンシステム [IVS]、IVS制御とホログラム解析を行う定量位相イメージングソフトウェアを持つPCから構成される。光源は、中心波長638nmのファイバー出力安定化LD光源を用いた。試料を透過した光波面は、倒立顕微鏡 (IX71, オリンパス製) により拡大され、QPIユニットの入力ポートに結像される。QPIユニット内で光波面は分離され、一方は試料の位相情報が保持された物体波、もう一方は位相が一樣に揃った光波面である参照波を生成する。再び両者が重なり合うことにより干渉縞であるホログラムが生成される。このホログラムをIVS (高速CMOSセンサシステム 8201-50, 浜松ホトニクス製) で撮像する。コンピュータ内でホログラムの解析を行い、定量位相画像が得られる。

本システムは、従来の定量位相顕微鏡と比較してQPIユニットの採用により、振動などの外乱に強く、IVSによりホログラムを高速に取得することが可能である。図7-8にIVSの仕様を示す。

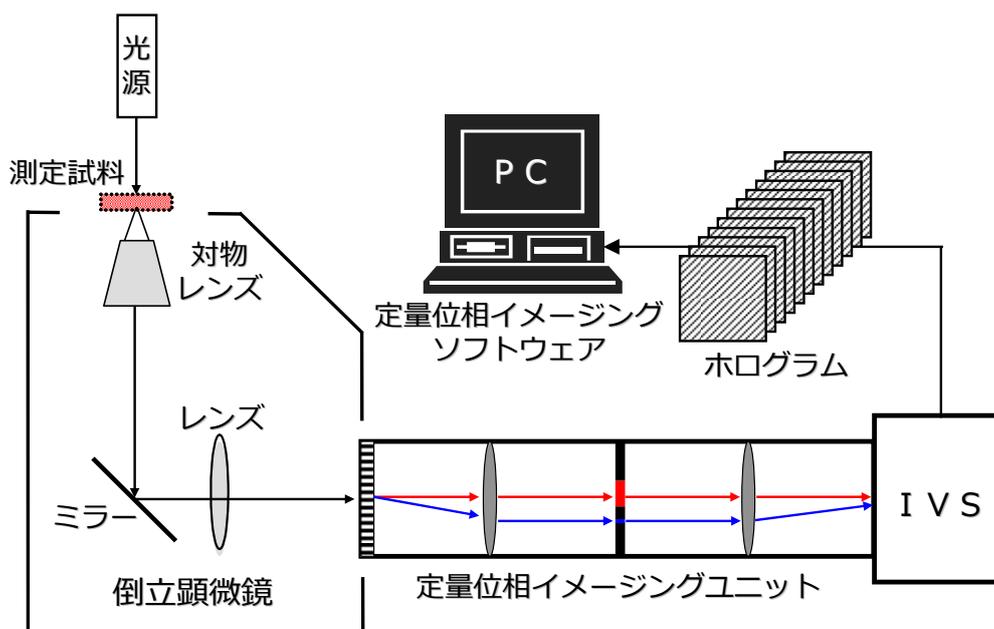


図7-7. 定量位相顕微鏡システム

表7-1. インテリジェントビジョンシステムの仕様

センサ有効サイズ	10.24mm × 10.24mm
アレイサイズ	512 × 512 (任意部分読出 ^{*1} 、ex. 232 × 232)
ピクセルピッチ	20μm
開口率	45%
フレームレート	250fps (232 × 232 時には 1000fps)
カメラ消費電力	6W
階調	10bit (撮已条件による)

7-4-2 定量位相イメージングユニット

図7-8は、5章5-6節で述べたコモンパス光学系を採用した定量位相イメージングユニットである⁴。型式QPI-U1は、光波面分離素子に回折格子を用いている。

図7-9は、定量位相イメージング [QPI] ユニットの光学系である。QPIユニットは、倒立顕微鏡と撮像カメラの間に接続される。倒立顕微鏡によりIP面上に拡大結像された測定試料の物体波は、回折格子Gにより複数の光波面に分離され、レンズL₁により空間フィルターSF上にそれぞれ集光する。複数の集光された光の内、0次回折光波面は観察物体の位相情報を保持したまま空間フィルターSF上の開口部0を通過し、レンズL₂で撮像素子上に再結像される。もう一方の1次回折光波面は空間フィルターSF上のピンホール部+1で点光源に変換され、レンズL₂で平面参照波となり、両者は撮像素子上で重なり合い干渉縞ホログラムを生成する。物体光と参照光は等しい光路を通過するコモンパス光学系であるために、振動等の外乱に影響されずに安定した定量位相顕微鏡を構築することが可能である。

QPI-U1の改良型として、特許出願済である光波面分離素子に偏光分離素子を用いた型式QPI-U2がある。QPI-U2は、QPI-U1の問題点である5章5-7節で示した画質と光量の改善が可能である。さらに、光波面分離素子に液晶型空間光変調器を用いることにより、高品質かつ簡単に扱えるQPIユニットを開発することも可能である。



図7-8. 定量位相イメージングユニット [型式：QPI-U1]

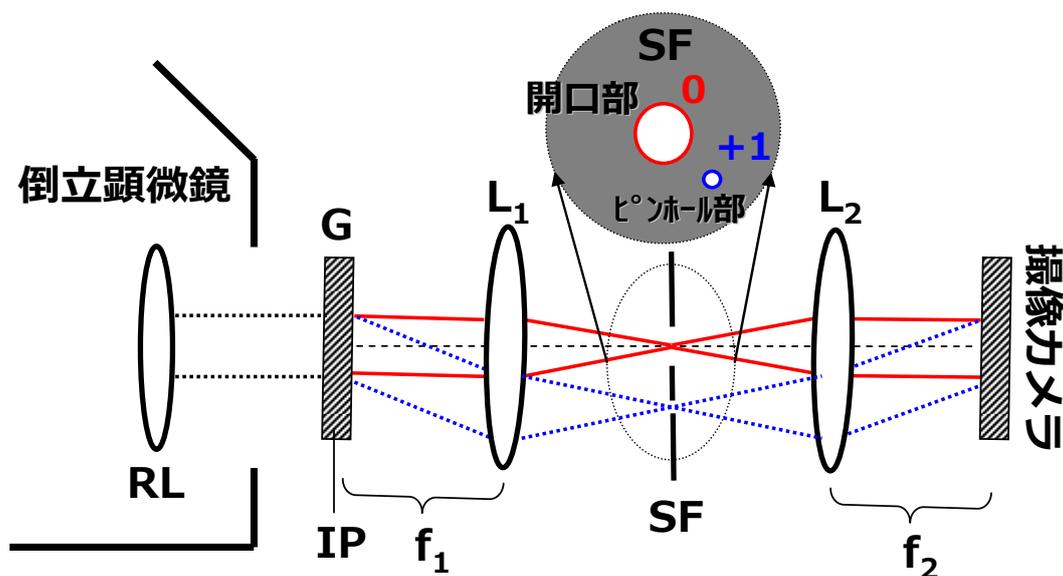


図7-9. 定量位相イメージングユニットの光学系

7-4-3 定量位相イメージングソフトウェア

定量位相顕微鏡システムは、透明物体を観察するために役立つ。しかし、透明物体の強度画像はコントラストが低いため、観察者が透明物体の位置やフォーカスの調節が困難である。そこで、撮像されたホログラム画像をリアルタイムで解析し、定量位相画像を表示することができる定量位相イメージングソフトウェア [Q P Iソフト] を開発した⁴。

図7-10は、開発したQ P Iソフト”QPImager”を示している。I V Sで撮像したホログラムの表示(図7-10①)、定量位相画像の表示(図7-10②)が可能である。操作部(図7-10③)において定量位相画像の各種補正・解析及び、ホログラム画像の高速長時間記録が可能である。

本ソフトウェアにより、透明な位相物体の観察位置及び、ピント調整が容易となった。例えば、ホログラム(図7-10①)ではピントの合った赤血球を確認することはできないが、定量位相画像では透明な赤血球を明瞭に確認できる(図7-10④)。定量位相画像のリアルタイム表示は、測定実験を円滑に進めるために不可欠な機能である。

ホログラムの取得・解析、定量位相画像の表示に関するリアルタイム性能はコンピューター環境に依存する。本システム(INTEL製Core2Duo E6850 3.00GHz)での一連の速度は、約6コマ/秒程度(512x512画素時)であった。今後、並列処理が可能なGPUなどを用いることにより高速化が期待できる。

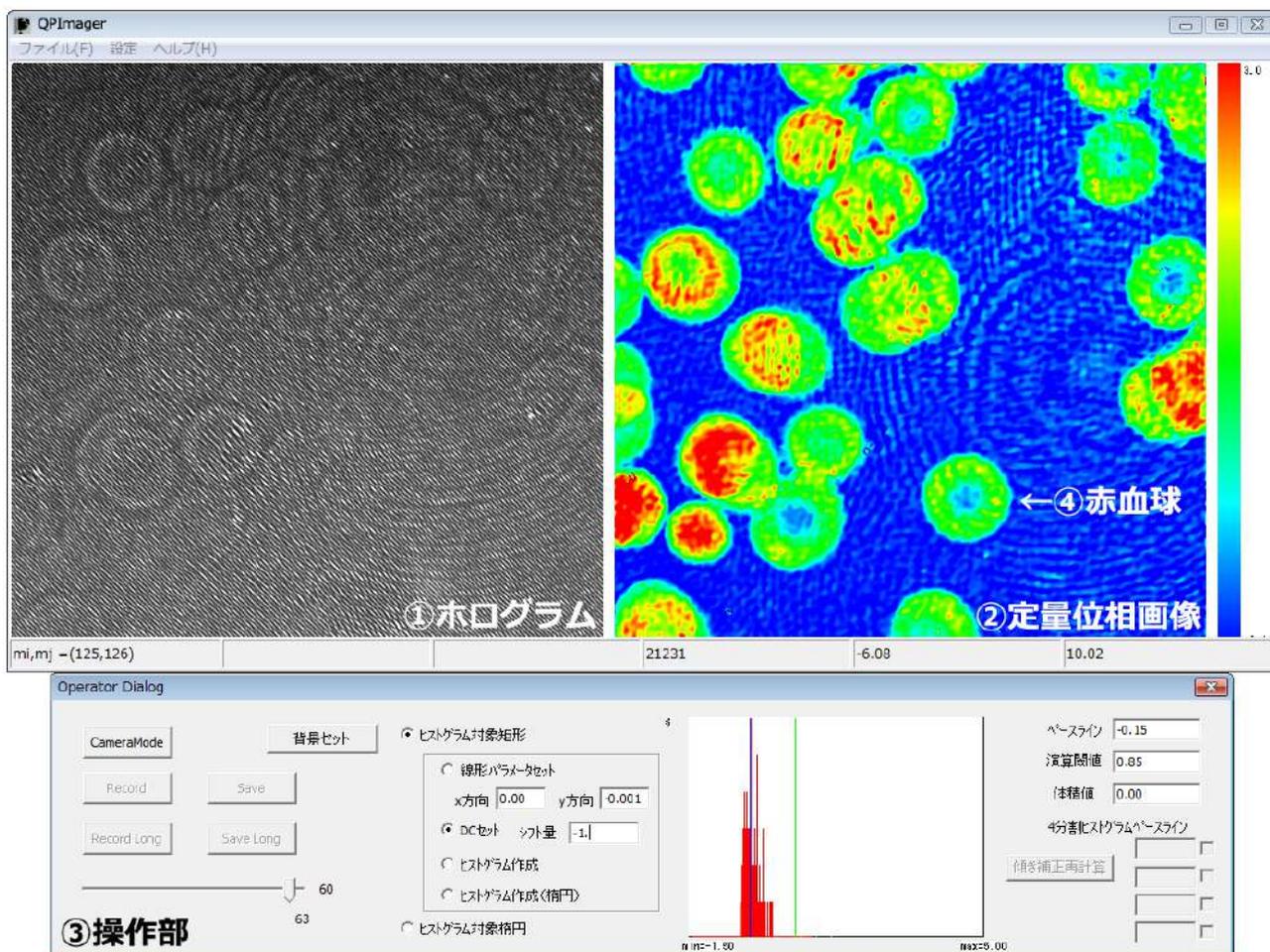


図7-10. 定量位相イメージングソフトウェア ”QPImager”

7-5 定量位相顕微鏡システムの基本特性

本節では、定量位相顕微鏡システムの基本特性について記載する。

7-5-1 定量位相顕微鏡システムの静的特性

定量位相顕微鏡システムの動作確認として、測定試料が無い定常状態においてノイズ評価を行った。

図7-11は、IVSの撮像速度250fps計500ミリ秒間の1画素における時間変動データである。測定結果の標準偏差値は約0.99nmであった。

図7-12は、IVSの撮像速度1000fps計500ミリ秒間の1画素における時間変動データである。測定結果の標準偏差値は約2.01nmであった。

このように、IVSの撮像速度に応じて、測定データのノイズ増大が確認された。撮像速度に応じて光量が低下した場合、得られたホログラムのダイナミックレンジの低下が原因であると考えられる。

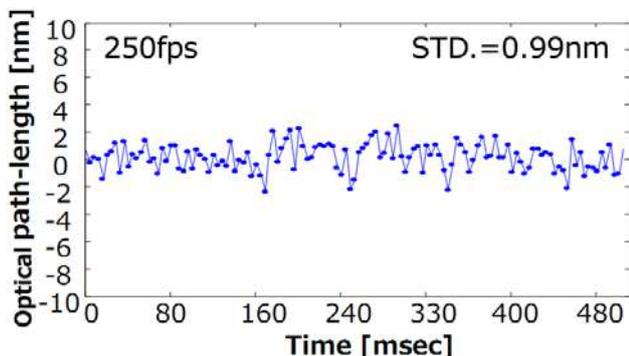


図7-11. ノイズ評価 [250fps]

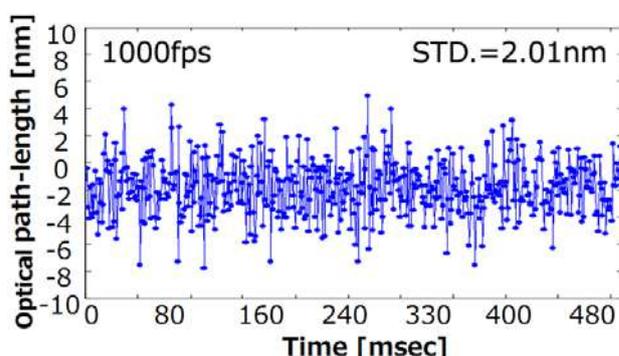


図7-12. ノイズ評価 [1000fps]

7-5-2 赤血球の厚みと体積値の動的測定

定量位相顕微鏡システムの動的評価を行った。測定試料は、血液を摂取し、二枚のカバーガラスに挟み込まれた赤血球である。対物レンズは60倍を用いた。IVSの撮像速度250fpsである。

図7-13は、赤血球の定量位相画像である。赤血球の特徴であるドーナツ形状が観察できる。

図7-14は、図7-13中口の赤血球上の一点の厚みと体積値の動的変化の表すグラフである。厚み及び体積は式5-1, 5-2を用いて算出した。厚み量と体積変動に関する定量解析が可能である。赤血球の細胞膜が高速に変動している様子が分かる。

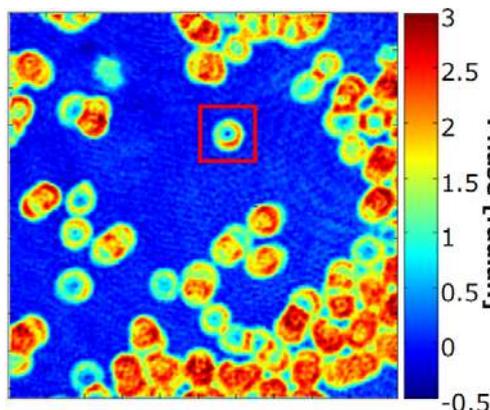


図7-13. 赤血球の定量位相画像

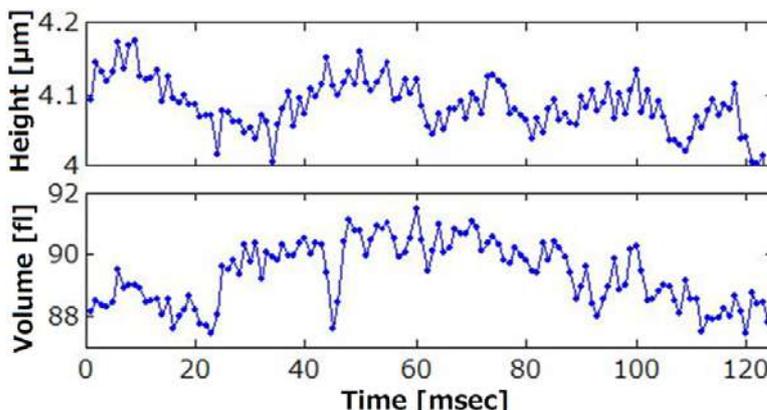


図7-14. 赤血球の厚みと体積値の動的変化

7-6 定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡

本節では、定量位相顕微鏡システムに明視野像観察機能を付与した定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いた、好中球の開口放出現象の測定について述べる。

7-6-1 全体構成

図7-15は、定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡である⁶⁾。倒立顕微鏡（オリンパス製IX71）に定量位相画像取得系と明視野像取得系が構築されており、両者を同時に記録することができる。それぞれに高速撮像できるカメラと、取得画像を高速に長時間保存できるコンピューター（ハードディスクへ直接記録）を用いたシステム構成となっている。

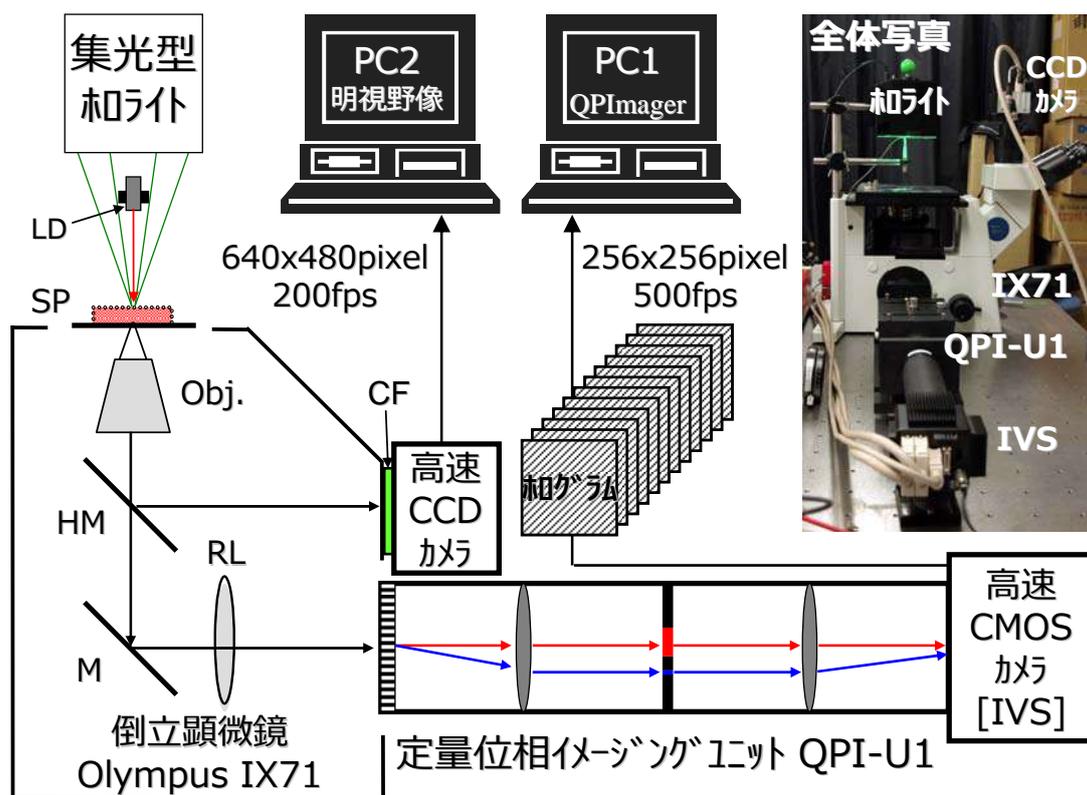


図7-15. 集光型ホライトを用いた明視野像観察光学系を導入した定量位相顕微鏡システム

7-6-2 定量位相画像取得系

定量位相画像の取得方法について述べる(図7-15参照)。定量位相画像用のレーザー光源LDには、シングルモードファイバ出力半導体レーザー（中心波長約638nm）を用いた。試料SPを通過した光は、対物レンズObj.（倍率100倍）、ハーフミラーHM、ミラーM、レンズRLを経て、顕微鏡の出力ポート（Cマウントアダプタ）に接続された定量位相イメージングユニット（以下、QPIユニット、パイフォニクス製QPI-U1）に結像される。図7-9で示したQPIユニットは本章4-2で詳述した通り、物体光と参照光が等しい光路を通過するコモンパス光学系を採用しており、振動等の外乱に影響されない安定した取得が可能である。物体光と参照光の両者はIVS上で重なり合い干渉縞であるホログラムを形成する。このホログラムをIVSにより撮像し、コンピューターPC1に保存する。今回、設定した長時間記録時のIVSの解像度は256x256画素、取得速度は500枚/秒、12bit階調である。

7-6-3 明視野像取得系

明視野観察用照明に定量位相画像用レーザー光源を流用した場合、光源の可干渉性によるスペckルノイズの発生、照明光の低開口率による分解能の低さの問題が生じる。そこで、LED光源を用いた照明装置であるホロライトを用いた。ホロライトは、軽量小型なキューブ型筐体から大面積・高輝度・高指向特性・低刺激性を持つ擬似平行光を発生する照明装置である。ホロライトの全体図と主な仕様を図7-16に示す。照明色は白色、電球色、赤色、緑色、青色、紫外光から選択できる。



図7-16. ホロライトの全体図 (①正面 ②背面 ③側面) と主な仕様

図7-17は、標準型ホロライトに追加光学素子を内蔵した集光型ホロライト (パイフォニクス製 HL03G) である。照明色は、定量位相画像用レーザー光源 LD (中心波長約 638nm) と異なる波長帯域の緑色光 (中心波長約 525nm) を用いた。集光型ホロライトは、高い開口率 [N.A.=0.5程度] と長い作動距離 [W.D.=8~12cm] であるために、図7-17に示すように照明光は、定量位相画像用光源 LD 及び、LDホルダーの周囲を通過して、試料を十分な光強度で照明することができる。結果として、LED光源の低干渉性によるスペckルノイズが発生しないこと、高い開口率により分解能が向上することにより、明視野像の品質を向上させることに成功した。

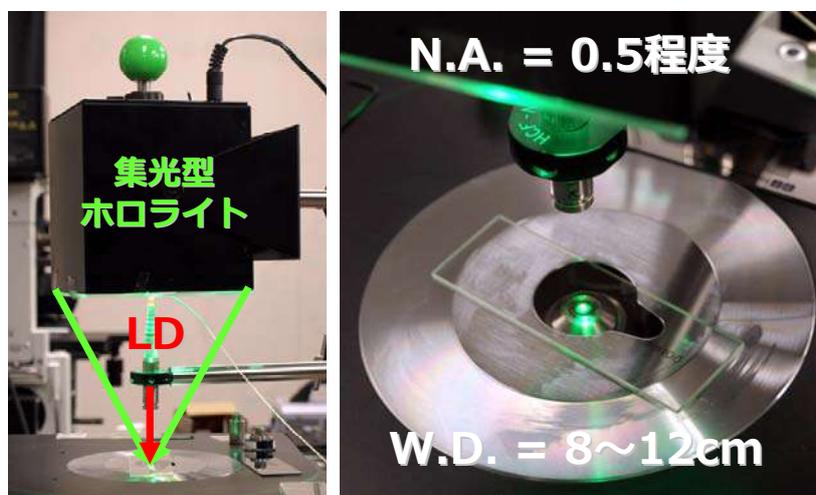


図7-17. 集光型ホロライト

明視野像の取得方法について述べる (図7-16参照)。集光型ホロライトからの照明光が試料を通過し、倒立顕微鏡内部のハーフミラーHMで反射し、高速 CCD カメラ (IMPERX 製 IPX-VGA210-LM) で撮像し、コンピューターPC2に保存する。使用した CCD カメラは、解像度 640x480 画素、取得速度約 200 枚/秒、12bit 階調である。ここで、定量位相画像用レーザー光源 LD からの光が CCD カメラに入射しないように、CCD カメラ前方に緑色光を透過させ、赤色光を遮断するカラーフィルターCFを設置している。ホロライトを用いることにより、透明な位相物体を観察する際に、高速度カメラで測定するために必要な高強度の照明光を用いても、熱量が発生しないために、試料への光損傷は少ないことが考えられる。

7-6-4 好中球の明視野像と定量位相画像の同時観察

定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いて、好中球貪食時の開口放出現象の高速長時間測定を行った⁷。試料は、好中球（詳細については次節参照）と貪食のための異物(Sigma製 Zymosan A)を混ぜ合わせたものである。図8は、異物を貪食している好中球の明視野像（図7-18①）と定量位相画像（図7-18②）と、その両者の融合像（図7-18③）である。今回、使用した明視野像用CCDカメラと定量位相画像用CMOSカメラの解像度が異なっているために、格子状のパターンを用いて両者の画像の位置合わせを行っている。

図7-18①の白点線部内部に、異物が存在している。図7-18②は、定量位相画像の光学距離値を擬似カラーで表示している（光学距離値のスケールは-30nm~518nmであり、青-緑-赤の順に大きくなる）。赤点線部内部に光学距離値の高い領域が存在している。図7-18③は、明視野像と定量位相画像を乗算して得た。異物周辺に高屈折率を有する顆粒が多く存在することが推測できる。一方、異物領域の光学距離値は低いために、好中球の細胞質のより屈折率低いことが推測できる。図7-19、7-20は、図8の観察時から10秒後、20秒後の好中球である。好中球が異物を食べこむにつれて、異物周辺の光学距離値が減少している。つまり、顆粒が減少していることが考えられる。

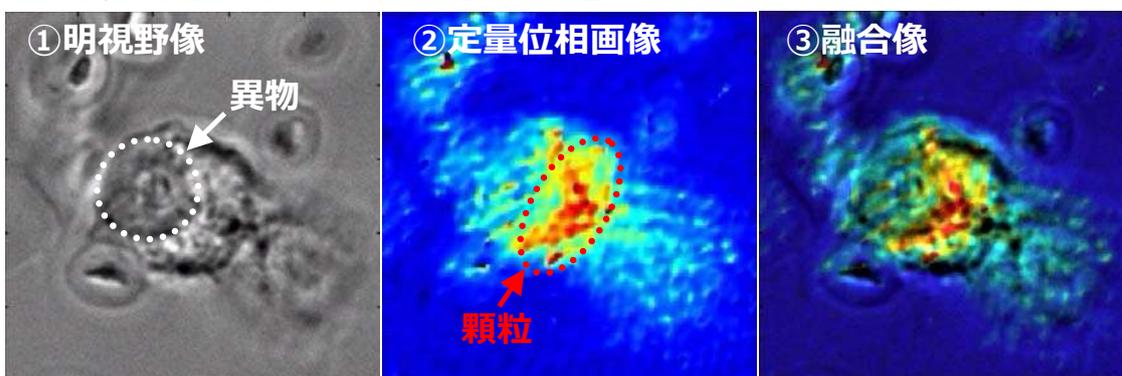


図7-18. 好中球貪食時における同時観察

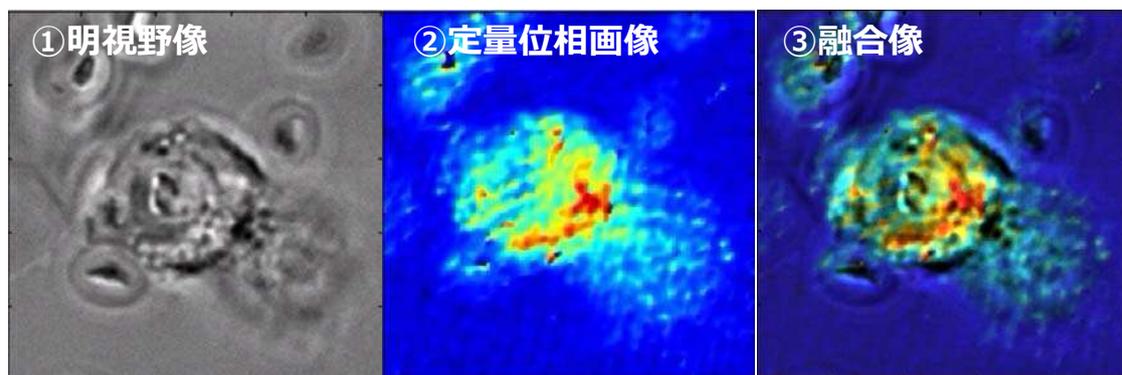


図7-19. 好中球貪食時における同時観察（10秒後）

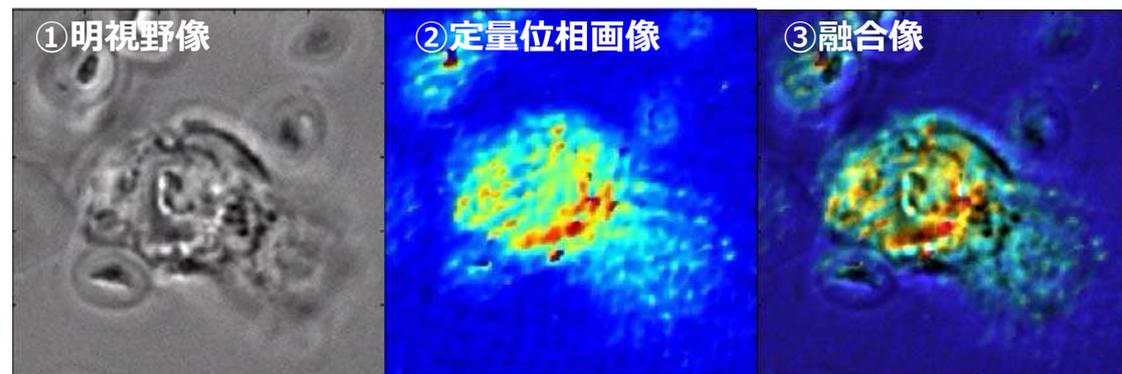


図7-20. 好中球貪食時における同時観察（20秒後）

7-6-5 好中球の開口放出現象の定量位相画像を用いた解析

白血球系細胞の1つである好中球は、炎症サイトに最初に出現し、侵入した異物を非特異的な食作用により貪食・処理することから即時型生体防衛に関与すると言われる細胞である。この異物貪食の過程で、好中球の顆粒の内容物が食べ込んだ異物に向かって開口放出されることが、異物の無毒化に必須である⁸。図7-21は、好中球の開口放出現象を模式的に示したものである。

定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いて高速長時間観察した結果(7-6-4)から、定量位相画像100枚分に相当する200ミリ秒間を抽出し、開口放出現象について解析を行った。

図7-22は、好中球貪食時における開口放出現象の定量位相画像の時間変化(10ミリ秒間隔)の様子を示したものである。図7-22①の○部内の光学距離値が減少しており、この部位が、開口放出部に対応していることが考えられる。

図7-23は、図7-22①の○部内の光学距離値の変化を示したものである。図7-23に示す①~④の数字は、図7-22①~④の各時間に対応している。開口放出後、約20ミリ秒間で光路長(光学距離値)が約40nm程度減少しており、その後、上昇していることが確認される。これは、屈折率の高い顆粒の内容物が開口放出により、好中球の外部に流出している動態を示唆している。

以上、蛍光材料を用いずに、非侵襲かつ高速(2ミリ秒間隔)に、好中球の開口放出の動態を定量的に観察することが可能となった。本システムは、開口放出のメカニズムの解析、細胞膜の力学的解析、さらには、神経系、内分泌器官、消化管などの生体内の様々な局面で観察される開口放出現象の実態の解明や、その異常による病態解析に有用なツールとなることが期待される。

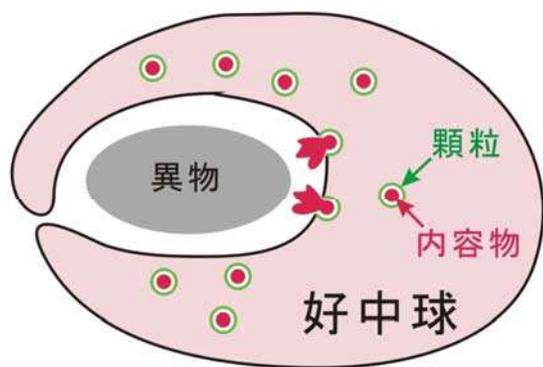


図7-21. 開口放出現象を示す模式図

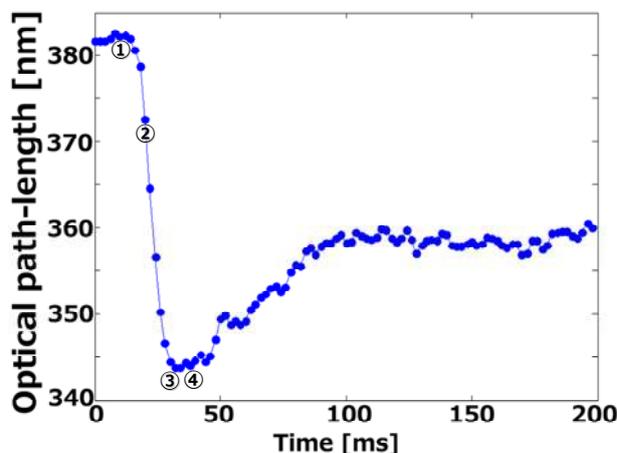


図7-23. 顆粒部の平均光学距離値の変化

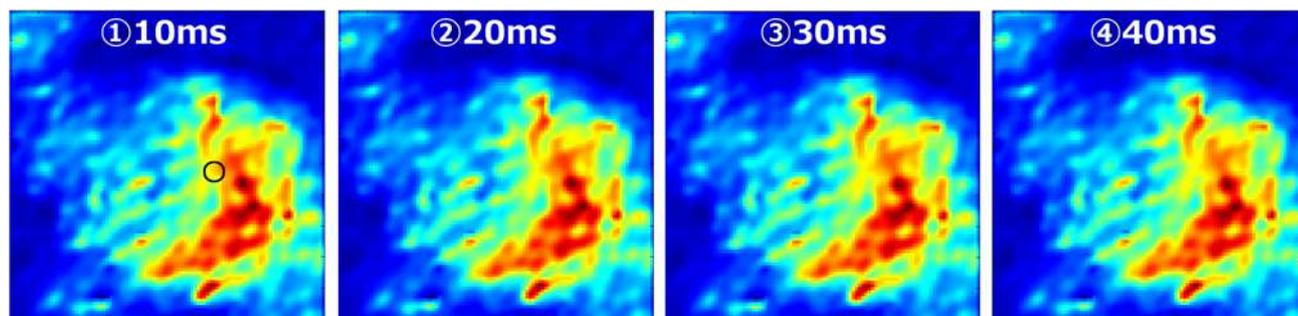


図7-22. 好中球貪食時における開口放出現象の定量位相イメージング

7-7 広告宣伝による市場開拓

本節では、測定機器の市場開拓について述べる。市場開拓のための広告宣伝活動として、学会発表、展示会出展、新聞記事掲載を行った。以下に、それぞれについて示す。

7-7-1 学会発表

測定機器に関する研究開発内容について、下記の11件の学会で発表を行った。内、2件の受賞があった。学会発表を通じて、新たなユーザーとの接点ができ、共同研究に至った事例があった。

[1] 2006年9月6日（口頭発表）

池田貴裕, G. Popescu, M. S. Feld, "生物細胞の動的構造調査のための定量位相顕微鏡", OPJ2006, 8aE2(2006).

[2] 2007年6月13日（口頭発表）

池田貴裕, "フィードバック系及びコモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡", Proc. of 39th Meeting on Lightwave Sensing Technology, 22, (2007).

[3] 2007年12月21日（口頭）、22日（ポスター発表）

T. Ikeda, "Quantitative Phase microscopy for visualization, quantification and analysis of live cells", 第45回日本生物物理学会年会, Dec. 21-23(2007).

[4] 2008年1月31日（招待講演）

池田貴裕, "生物細胞の可視化、定量化、解析のための定量位相顕微鏡", レーザー学会第28回年次大会 (2008).

[5] 2008年2月6日（ポスター発表）

Takahiro Ikeda, "Quantitative phase microscopy for quantitative analysis of live cells", Mind Brain Science (2008).

[6] 2008年6月13日（インタラクティブセッション、SSII08 優秀学術賞 受賞）

池田貴裕, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムによる透明体の高速測定", 第14回画像センシングシンポジウム (2008).

[7] 2008年10月30日（ポスター発表、ベストイメージ・晝馬賞 受賞）

洲崎悦子, 池田貴裕, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "好中球貪食時における開口放出現象の高速イメージング：定量位相顕微鏡を用いた解析", 日本バイオイメーjing学会 (2008).

[8] 2008年12月9日（ポスター発表、口頭発表）

池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムを用いた開口放出時における生細胞の高速イメージング", BMB2008 (2008).

[9] 2009年6月11日（インタラクティブセッション）

池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いた好中球開口放出現象の高速長時間測定", 第15回画像センシングシンポジウム (2009).

[10] 2009年8月20日（ポスター発表）

池田貴裕, "細胞定量化のための定量位相顕微鏡：ホロライトを用いた明視野観察系の導入", 第15回日本光生物学協会年会(2009).

[11] 2009年9月4日（ポスター発表）

池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "好中球貪食時における開口放出現象の定量位相-明視野デュアルイメージング", 第18回日本バイオイメーjing学会(2009).

7-7-2 展示会出展

測定機器事業に関して、主に測定事例やQPIユニット試作機を中心に、6件の展示会に出展した。

[1] 2007年9月6日：第37回浜松ものづくりフェア2007

光産業創成大学院大学の光加工・プロセス分野と協力し、初めて展示会に出展した。目的は、レーザー加工品の測定事例紹介と周辺企業との接点作りである。小さな展示会であったが、浜松市の地元企業の方々と知り合う機会になった。



[2] 2007年11月7日：光交流会との合同イチ押し製品発表会

浜松市と東京都板橋区の光交流会の合同企画された展示会である。県外の光関連企業と接する機会となり、後に光交流会で講演することになった。定量位相イメージング [QPI] ユニットの動的展示を行い、振動などの外乱に対して干渉縞が変動しないことを実演した。



[3] 2007年11月9日～10日：しずおか新産業技術フェア2007

しずおか産業創造機構主催の展示会である。定量位相イメージング技術に関する研究開発助成事業の成果展示のために、光産業創成大学院大学ブース内で定量位相イメージングユニットの動的展示を行った。異業種分野からの参加者がほとんどで、設置スペースは広がったが、得られた情報は少なかった。



しずおか産業創造機構主催

[4] 2007年11月11日：ベンチャーエキスポ2007

大阪地域で初めての展示会であった。光産業創成大学院大学ブース内で出展した。定量位相イメージングユニットの動的展示を行った。ブース後方に設置したことと、ブース前方に設置したホロライトやホログラムほどのインパクトがなく、得られた情報は少なかった。



大阪で初めての展示会出展

[5] 2008年11月5日：テクノサロン静岡2008

しずおか産業創造機構主催の展示会である。定量位相イメージング技術に関する研究開発助成事業に関する成果展示を行った。定量位相顕微鏡による測定事例と定量位相イメージングユニットの説明パネル展示及び、技術資料を配布した。静岡東部の方と交流することができた。



しずおか産業創造機構 研究開発助成事業に関する成果展示

[6] 2009年2月20日：nano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展

ナノテクノロジービジネス推進協議会合同ブースにおいて出展した光産業創成大学院大学のブースに受託測定サービスと定量位相イメージングユニットのパネル展示を行った。人通りの悪い場所で引合いはほとんどなかった。



ナノテクノロジービジネス推進協議会合同ブース

7-7-3 新聞記事掲載

日本経済新聞（全国版）に測定機器に関する記事が掲載された。内容を記事7-1に示す。今回、取材を受けた当初は静岡版に載る予定であったが、光産業創成大学院大学における光産業創成に関する研究について、自分の思いを伝えた所、記者の計らいにより、全国版へ掲載されることになった。

日本経済新聞（全国版）への掲載による広告宣伝効果は大きく、起業実践で知り合った方々からお祝いのメールを頂くと共に、複数の販売代理店や研究所からの問い合わせが舞い込んで来た。しかし、実際はまだ製品を販売できる体制が整っておらず、すぐに売上高に寄与することはなかった。

また、記者に話した内容は何らかの形で文章に直される。一方、記事を読む読者には、細かいニュアンスまでは伝わらない。不特定多数の人々が目にする訳であり、発言は慎重にすべきであるが、一方、自分の思いを大胆に伝えることも必要であることを学んだ。

記事7-1. 日本経済新聞 [2008年5月14日付22面]

開発型ベンチャーのパイフォトニクス（浜松市、池田貴裕社長）は浜松ホトニクスと共同で、通常の顕微鏡に取り付けるだけで透明な細胞を生きたまま計測できる装置を開発した。透過光を利用し、細胞の大きさや形状変化などを測る。後付けにして価格を五百万円程度に抑制。医療や医薬品開発の分野で普及を図る。

開発した定量位相イメージングユニットは細胞などに光を当て、透過した光を

染色せずに細胞計測

反対側から測定。対象物の密度に応じて生じる、位相差と呼ぶ光の波長のズレから体積などを算出する。演算処理で形状の変化を動画で表示したり、薬品などの

パイフォトニクス

刺激で細胞がどのように変化するか観察しながらデータを集計できるという。

位相差を利用する従来の顕微鏡は体積や密度を測れなかったり、一台二千万円

顕微鏡に装置後付け

以上と高額で普及していなかった。パイフォトニクスは波長を目に見えるしま模様に変換する技術を開発。しま模様上でゆがみとして表れる位相差を高速カメラで撮影し、検出できる。

細胞はほとんどが透明で、通常の顕微鏡では観察が困難。染色して観察する場合、細胞が死んでしまうことも多かった。同社は浜松ホトニクスが設立した光産業創成大学院大学（浜松市）の学生が起業した。

7-8 知的財産権

測定機器に関連する知的財産権を下記に記載する。

- [1] 2007年4月20日 特願 2007-140703 「定量位相顕微鏡」
特開 2008-292939 「定量位相顕微鏡」
- [2] 2007年12月21日 特願 2007-330468 「試料同定装置および試料同定方法」

現在、公開されている[1] 特開 2008-292939 「定量位相顕微鏡」について下記に述べる。

本特許に係る定量位相顕微鏡の構成図を図7-24に示す。

課題は、光利用効率が高く、外乱に対して強く、光量調節を容易に行え、波長に応じて専用の空間フィルター43を用いる必要がなく、測定試料Sの厚みなどの定量的な測定を高い測定精度で行うことが可能な定量位相顕微鏡を提供することである。

解決手段は、測定試料Sに関する位相情報を含む被測定光H1を、収束光H2に変換する集光レンズ42と、集光レンズ42の入射側に配されてなり、被測定光H1を偏光方向が互いに異なる2つの光H1a、H1bに分離する偏光分離素子41と、入射して来る前記2つの光H1a、H1bを、前記位相情報を保持したままの物体光H3として出射、及び、前記位相情報を含まない参照光H4に変換してそれぞれ出射する開口431及びピンホール432と、ピンホール432の出射側に設けられ、前記物体光H3及び参照光H4の偏光方向を揃える半波長板44と、前記半波長板44により偏光方向を揃えられた物体光H3と参照光H4とを重ね合わせて干渉縞を生成する合成レンズ45と、を具備するようにしたことである。

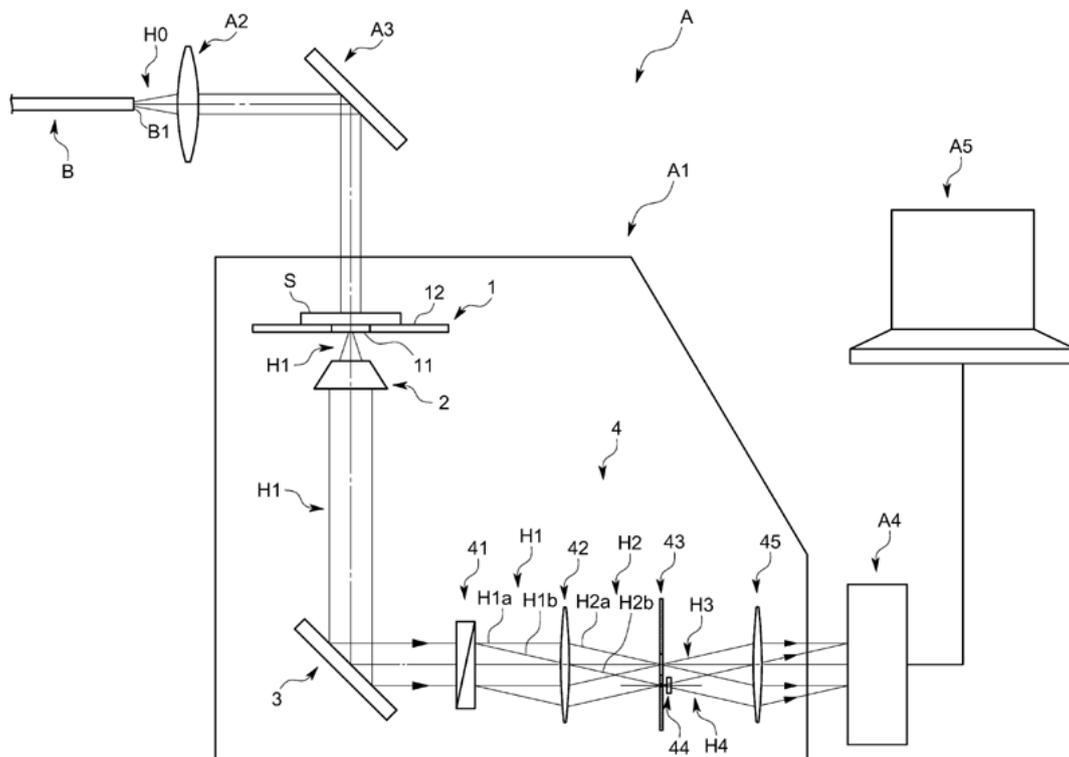


図7-24. 定量位相顕微鏡の構成図

7-9 まとめ

本章では、定量位相顕微鏡に関する測定機器の事業化開発について詳述した。初めに、市場ニーズの収集及びユーザー獲得を目的として、定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスを行った。3節では、その一例としてガラス材料の測定事例を紹介している。次に、定量位相顕微鏡を製品として継続して提供するために、自らが開発した定量位相イメージング技術を基に、定量位相イメージングユニットと定量位相顕微鏡システムの開発を行った。開発した定量位相顕微鏡システムは、数 nm 程度の誤差で、細胞運動の高速測定が可能であることを確認した。また、明視野像観察機能を付与した定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡の開発を行い、白血球細胞の1つである好中球の開放放出現象の可視化に成功した。

測定機器事業の広報宣伝活動として、11件の学会発表、6件の展示会出展を行い、1件新聞記事に掲載された。知的財産権として、2件の特許出願を行った。

謝辞

本研究開発の一部は、しずおか産業創造機構創業者等研究開発助成事業及び、浜松商工会議所F/S支援事業による支援の元で行われた。

定量位相顕微鏡システムは、浜松ホトニクス株式会社中央研究所と共同開発された。IVS及び、QPIソフトの開発をご協力頂いた共同研究者の豊田晴義氏、宅見宗則氏に心から感謝します。

好中球の開口放出現象の測定については、就実大学薬学部の洲崎悦子教授と広島市立大学情報科学研究科の藤原久志講師と共同で実験しました。はるばる遠路からお越し頂いた両先生に心から感謝します。

参考文献

- [1] 池田貴裕, G. Popescu, M. S. Feld, "生物細胞の動的構造調査のための定量位相顕微鏡", OPJ2006, 8aE2 (2006).
- [2] T. Ikeda, "Quantitative Phase microscopy for visualization, quantification and analysis of live cells", 第45回日本生物物理学会年会 (2007).
- [3] 鈴木賢哉, 那須悠介, V. Sharma, 池田貴裕, J. G. Fujimoto, E. P. Ippen, M. S. Feld, "フェムト秒レーザーによる導波路描画技術を用いた[3x3]光方向性結合器の作製と評価", The 16th Meeting on Glasses for Photonics (2006).
- [4] 池田貴裕, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムによる透明体の高速測定", 第14回画像センシングシンポジウム講演論文集, IN3-13 (2008).
- [5] NEDO, "三次元光デバイス高効率製造技術", 事業原簿(公開版), 配布資料 5-1-1 (2008).
- [6] 池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いた好中球開口放出現象の高速長時間測定", 第15回画像センシングシンポジウム講演論文集, IS1-01 (2009).
- [7] 池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムを用いた開口放出時における生細胞の高速イメージング", BMB2008, 4P-0556(4T11-12), pp. 756 (2008).
- [8] E. Suzuki, H. Kobayashi, Y. Kodama, T. Masujima, S. Terakawa, "Video-rate dynamics of exocytotic events associated with phagocytosis in neutrophils", Cell Motility and the cytoskeleton, 38, pp. 215-228 (1997).

第8章 照明機器の事業化開発

本章では、パイフォトンクス株式会社の照明機器の事業化開発について述べる。

8-1 背景と目的

第4章ホログラフィーの表示応用で述べたように、ホログラムは高い臨場感のある3次元物体を表示することができる。近年の研究開発の進歩により、大型のホログラムが作成できるようになった。しかし、従来のホログラム用に用いられていた照明装置であるハロゲンランプなどは、光源のサイズが大きいため、ホログラム再生像の鮮明さが低下する問題があった。一方、レーザー光源を用いることにより、鮮明な再生像が得られるが、レーザー光源の干渉性の高さによりスペックルノイズの発生及び、観察者への危険性などの問題があった。そのために、大型ホログラムの再生に適した照明装置が必要とされている。本事業化開発では、前記問題点を解決する照明装置を開発する。

現在、大型ホログラムに関する研究開発は、浜松ホトニクス株式会社中央研究所で行われており、自動車、医療画像などの実物大サイズのホログラムは高い広告宣伝力が期待される。ホログラム再生に適した照明装置は大面積・高輝度・高指向特性・低発熱・低消費電力などである。そこで、実物大サイズのホログラムの再生に適したホログラム用照明装置「ホロライト *HOLORER-it!*®」¹を開発し、事業化することを目的とする。さらに、ホログラム再生用途以外にも役立つ専用の照明装置開発及び、販路開拓を通じて浜松市における新産業の創成に貢献しうることを大きな目的とする。

図8-1は、パイフォトンクス株式会社のホームページのトップページである。ホロライトが発した光が地球に照明され、浜松市から光技術を融合した製品を全世界に発信するイメージで制作している。当初、パイフォトンクス株式会社の事業計画に無かったホロライトが、現在、会社の代表製品である。



図8-1. パイフォトンクス株式会社のホームページ [http://www.piphotonics.co.jp]

8-2 事業内容と事業計画

本節では、パイフotonクス株式会社の照明機器の事業内容と事業計画について述べる。

照明機器の事業内容は以下の通りである。ホロライトの製品紹介は8-4節で詳述する。

・高指向性LED照明装置「ホロライト *HOLORER-it!*®」の製造販売

照明機器の事業内容と主な用途は以下の通りである。ホロライトの応用は8-5節で詳述する。

(1) ホログラム再生用

大学や企業の研究者向けに、ホログラム再生用途向けにホロライトの製造販売を行う。
また、大型ホログラムとのセット販売を考えている。

(2) 検査用

製造現場や品質管理のための目視検査や自動検査用途向けにホロライトの製造販売を行う。
検査向けに任意のサイズに対応する専用スタンドを販売する。

(3) 演出用

各種演出用途に適した直列型及び、並列型ホロライトの製造販売およびレンタルを行う。

(4) その他の用途

上記に当てはまらない用途に対して、ホロライトの製造販売を行う。
代表的なものとして、植物育成用途や顕微鏡用途などがある。

図8-2は、照明機器の事業計画を表す図である。浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業において、試作レベルのホロライトを改良し、製品化を行う。さらに、特許、意匠、商標などの知的財産権を出願すると同時に、展示会への出展を行い、市場ニーズを得ることにより、そのニーズに融合した専用装置を開発して、事業化を目指す。

以上の通り、積極的に展示会に出展し、得られる市場ニーズを中心に開発を行う計画である。また、販売に際しては、専門的な分野に対して、特定の代理店や特約店から販売する計画である。理由は、既に顧客ユーザーと接点を持つ専門業者を通じた方が、販路開拓が容易であると、判断したためである。

以上、予想される市場規模は、ホログラム用途は数千万円、検査用途は数千万円、演出用途は数千万円である。産業創成のためには、照明装置単体だけではなく、照明装置を応用したシステム開発による高付加価値化が必要である。

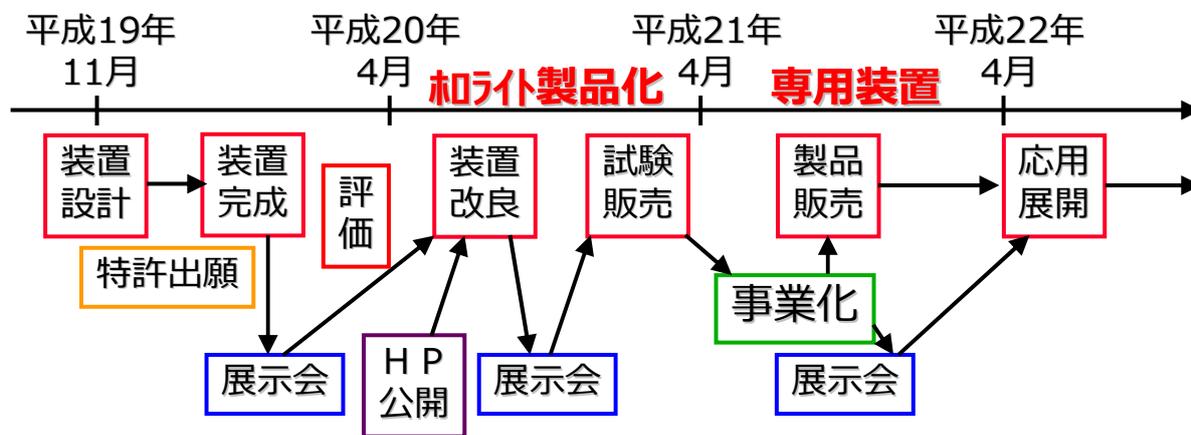


図8-2. 照明機器の事業計画

8-3 ホロライトの開発

ホロライトは、ホログラムを高品質に再生することを目的に開発された高指向特性を有するLED照明装置である¹。ホログラムとは三次元像が記録された写真であり、近年、大型のデジタルホログラムを出力することができるホログラフィックプリンターが研究開発されている。本節では、ホログラムの理想的な照明条件について示し、実験、試作、改良、製品化の流れについて説明する。

8-3-1 ホログラムの理想的な照明条件と基礎実験

ホログラムの理想的な照明条件を以下に記載する。

- ① 大面積：ホログラム全体を照明できる。
- ② 高輝度：ホログラムの再生に必要な波長帯域で十分な光強度を有する。
- ③ 高指向性：光源のサイズが十分に小さい。
- ④ 低発熱性：ホログラムが発熱しない、赤外光を持たない波長帯域である。
- ⑤ 低刺激性：ホログラムが損傷しない、紫外光を持たない波長帯域である。

例えば、太陽光は前記条件の①～③を満足する。太陽は地球から約1億5000km離れた宇宙に存在しており、直径は約140万kmである。地球から太陽を観察した場合、太陽の視野角は約0.5度である。この様に、高い指向性を有していることが分かる。このように、太陽光を用いてホログラムを再生すると、高品質なホログラムの再生が可能である。しかし、④と⑤の問題により、長時間におけるホログラムの再生においては、ホログラムに損傷を与える問題が生じる。

そこで、近年、進歩が著しい高輝度LEDと光学系を用いて、前記要素①～⑤を満足する照明実験を行った。図8-4はその実験系、図8-5はホログラム再生像である。このように、高品質なホログラム再生像を確認することができた。

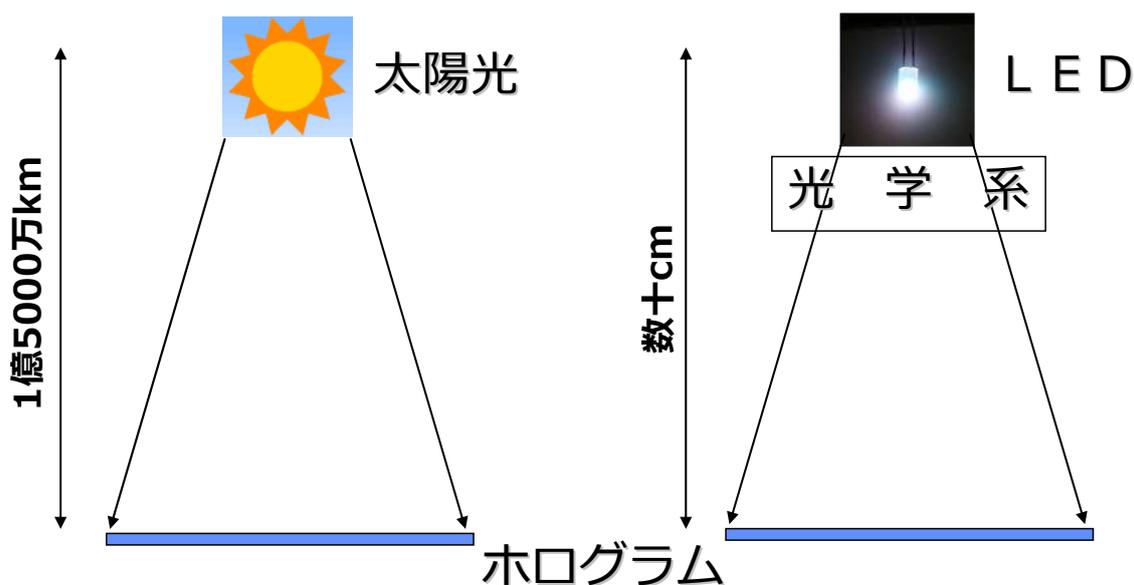


図8-3. 太陽光に近い指向特性

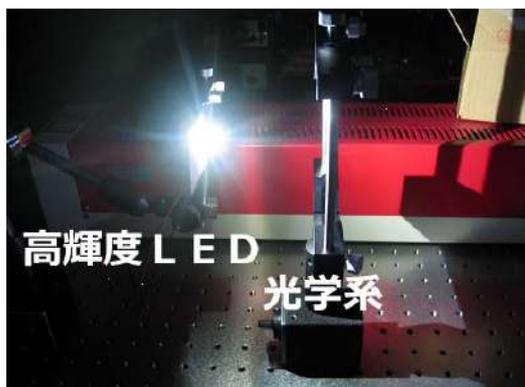


図8-4. 高輝度LEDを用いた実験



図8-5. 薔薇のホログラム再生像

8-3-2 ホロライトの試作、改良、製品化の流れ

図8-6は試作した照明装置によるホログラム再生の様子である。高品質なホログラム再生像を確認することができた。四角形状のホログラムを再生することを考えて、照明装置は立方体構造とした。図8-7は50mほど離れた遠隔をスポット照明したときの様子である。

この光を見た時に、「これはホログラム再生以外にも役立つに違いない」と感じた。

次に、装置を扱いやすくなるための改良を行った。試行錯誤の結果、ホロライトの原型が完成した。図8-8はホロライトの試作機である。図8-9は会社ロゴであるPIPホログラムの再生の様子である。

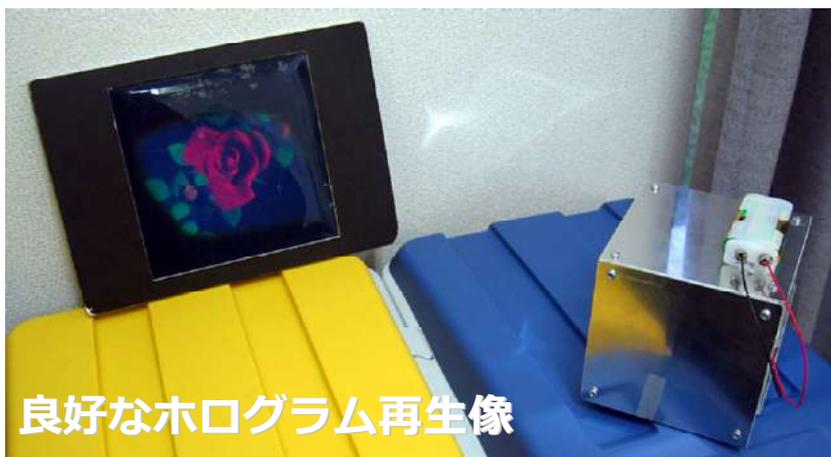


図8-6. 照明装置の試作機



図8-7. 遠方照明

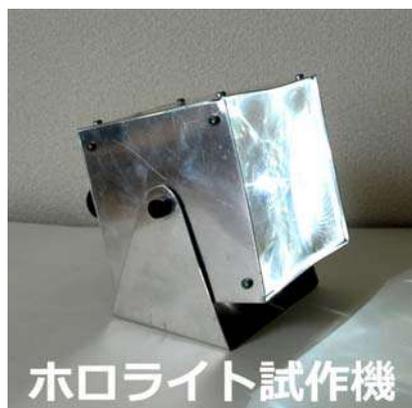


図8-8. ホロライトの試作機



図8-9. ロゴホログラム再生の様子

しかし、周囲でのホロライト試作機の評判は今ひとつであった。第一の原因は、筐体の仕上がり具合と考え、ホロライトの概観に関する改良に取り組んだ。まずは、手作り感の高い筐体を、板金業者に依頼して表面をアルマイト処理で仕上げ、残る部品は汎用品から調達した。こうして、図8-10に示すホロライトの改良機が完成した。ホロライトの照明光を図8-11に示す。背面にあるリアボールの前後移動により、照明光の拡がり角度の調整すること可能である。



図8-10. ホロライトの改良機



図8-11. ホロライトの照明光

ホロライトの製品化のためには、さらなる開発が必要であった。具体的には、LED駆動回路と高品質な樹脂レンズ金型の製作である。開発資金が必要であったが、タイミング良く、浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業の採択により、それらの開発資金を得ることができた。

こうして、無事にホロライトを製品化できたのである。図8-12に製品化されたホロライトの概観写真を示す。製品名の「ホロライト *HOLORER-it!*®」に関しては、商標を検索した結果、2006年12月25日に「ホロライト」の権利が消滅されており、商標取得のチャンスを得た。

ホロライトの英語表記の *HOLORER-it!*の *HOLORER* とはホロラーと呼ばれる造語であり、ホログラム愛好家を意味している。そのホロラーとイット[it]を組み合わせせて「ホロラーイット (ホロラーそれ!)」と駄洒落から名付けた。現在、ホロライト/*HOLORER-it!*はパイフォトニクス株式会社の登録商標である。



図8-12. 製品化されたホロライトの概観写真

8-4 ホロライトの製品紹介

ホロライトは、軽量小型なキューブ型筐体からホログラム再生に理想的な大面積・高輝度・高指向特性・低刺激性を持つ照明光を発生できる。図8-13はホロライトの全体図である。ホロライトは光源、レンズ、アルミ筐体、機構部、電源部から構成される。ホロライト背面にあるリアボールを前後に操作して、照明光の拡がり角度を調節することが可能である。光源部は定電流駆動された高輝度LEDを用いており、照明色は白色、電球色、赤色、緑色、青色、紫外光から選択できる（図8-14）。レンズ部は約100mm角と大型でありながら、樹脂性のために軽量であり、歪みの少ない設計が施されている。ホロライトの主な仕様を表8-1に示す。ホロライトの照明光は高い指向特性を持ち、遠く離れた対象物をスポット的に照明することができる（図8-15）。消費電力は数Wと低く、単三充電電池を用いて長時間使用することができる。また、キューブ型の筐体であるため、接する形態で、複数のホロライトを接続することが可能であり、用途に応じて任意の形態を構成することができる。

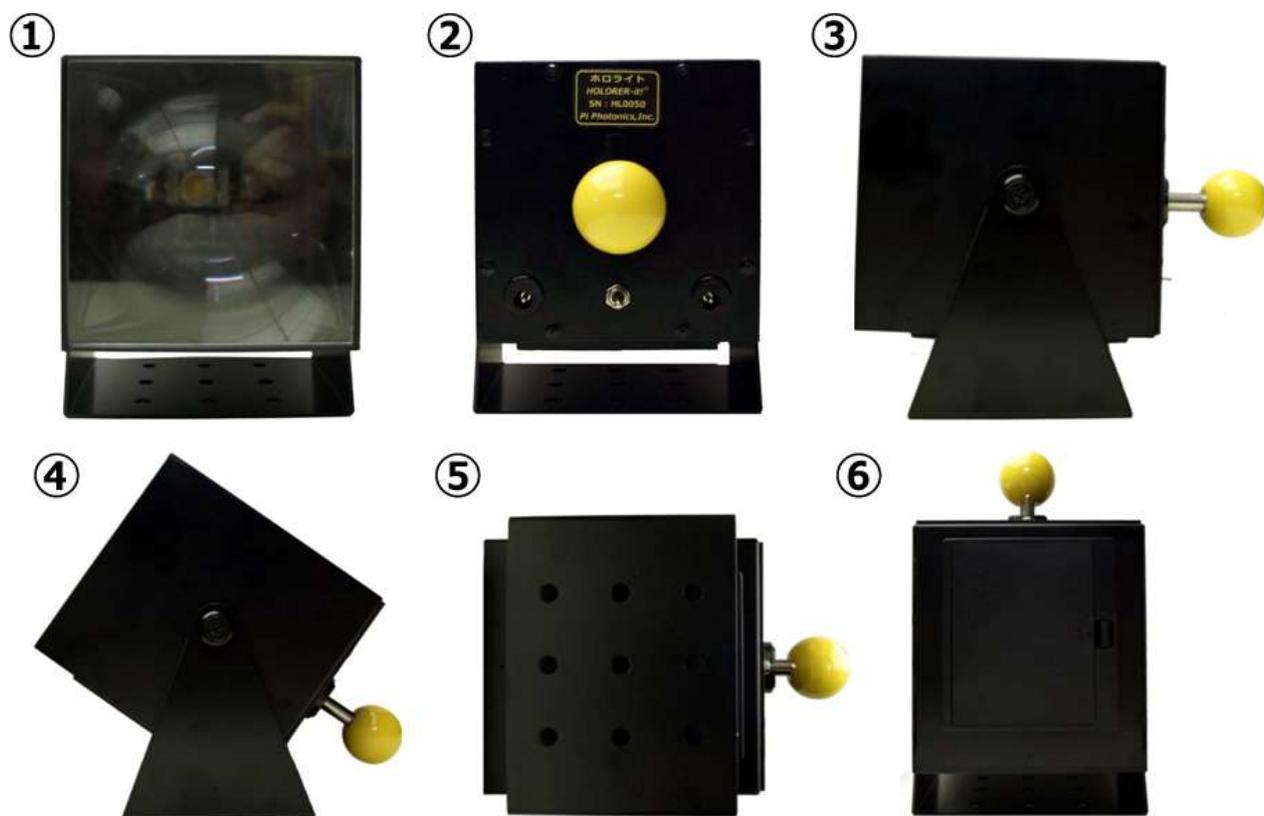


図8-13. ホロライトの全体図（①正面②背面③側転④回転可能⑤台座部⑥底面〔電池対応型〕）

表8-1. ホロライトの主な仕様

種類	平行照明型 HL01・ライン照明型 HL02・集光照明型 HL03。
照明色	白色 W・電球色 WW・赤色 R・緑色 G・青色 B・紫外光 UV。
大きさ	横 100mm x 縦 100mm x 奥行き 110mm [筐体部]。
光指向特性	0.5度～15度 [リアボールの前後移動により調整可能]。
消費電力	標準 4W [標準型]・最大 6W [高強度型]。
重量	約 435g [電源アダプタは含まない]。
オプション	調光電源 PS-D1・乾電池駆動-D・偏光照明-P・反射防止-AR。



図8-14. 照明色(白・電球・赤・緑・青)



図8-15. 遠隔スポット照明

下記のホロライトの種類・波長・形態・機能を任意に組み合わせて使用できる。
例えば、標準型・白色・電池対応の場合、製品型式はHL 0 1 W-Dとなる。

ホロライトの種類

- (1) 標準型 (HL 0 1)：標準的な平行照明ができるホロライトである。
- (2) ライン照明型 (HL 0 2)：ライン状の集束光を発生できる。
- (3) 集光照明型 (HL 0 3)：：1点に集まる集束光を発生できる。

ホロライトの照明色

白 (W)・電球 (WW)・赤 (R)・緑 (G)・青 (B)・紫外 (UV) の6種類から選択できる。

ホロライトの形態

- (1) 直列接続型：ホロライトを複数直列に接続して装置の伸長化ができる。
- (2) 並列接続型：ホロライトを多数並列に接続して装置の面積化ができる。

ホロライトの機能

- (1) 電池対応 (—D)：標準型に単三充電電池4本を内蔵して長時間使用できる。
- (2) 光量可変 (—V)：光量を段階的に可変することができる。
- (3) 光量均一 (—A)：光量分布むらがなく均一な照明光を発生できる。
- (4) 線形偏光 (—P)：線形偏光を有する照明光を発生できる。

8-4-2 ホロライトの種類

(1) 標準型 (HL01)

図8-16は標準型ホロライトである。以下に、各部名称について説明する。

① レンズ部

大口径の樹脂レンズである。レンズ表面には保護用アクリルカバーが装着されている。

強い衝撃を与えないように気をつけること。汚れが付着した際は柔らかい布で優しくふき取ること。

② 台座部

台座部には、Φ6mmの貫通穴が縦横3個ずつ2.5mm間隔で計9個存在する。

それらの貫通穴を利用して、ボルトやタイラップで固定することができる。

③ リアボール

リアボールを前後移動することにより、照明光の拡がり角を調節できる。

リアボールが接続されているロッド固定部の上方にあるつまみネジを用いて、リアボール前後移動の仮固定が可能である。また、ロッド固定部側面にあるイモネジを締めて完全固定ができる。

④ 電源スイッチ

上方向にスイッチを移動することにより、電源が入力され照明光を発生できる。

⑤ 電源入出力部

ACアダプタを2箇所ある端子のいずれかに接続することによりホロライトへ電源を供給できる。

接続したもう一方の端子を用いて、連結した異なるホロライトへ電源を供給することができる。



図8-16. 標準型ホロライト

図8-17はホロライトの波長スペクトルである。白色と電球色は、共に波長450nmの光で励起された蛍光強度により、異なる色温度を再現している。(白色6500K程度、電球色3500K程度)

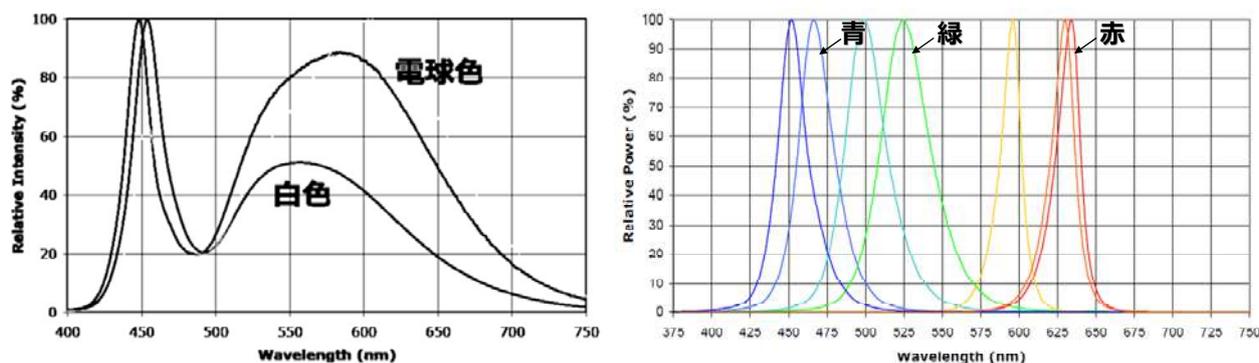


図8-17. ホロライトの波長スペクトル

(2) ライン照明型 (HL 0 2)

図8-18のライン照明型ホロライトは、複数枚の樹脂レンズを組み合わせることにより実現した。装置前面から一次元方向に集束光を発生することが可能であり、離れた距離にライン状の照明光を発生できる。また、リアボールの前後移動により、照明距離と照明領域を調節することができる。照明距離は13cmから25cmの範囲で可変でき、照明領域は、照明距離が長くなるにつれて広がる。ここで、照明距離とは、装置前面から照明光が集束するまでの距離である。

図8-19は、照明距離15cmでのライン照明型ホロライトの光量分布である。照明光を白色紙に投影しデジカメで撮影した。図8-19のグラフは、ライン照明部の横方向の光強度分布を示している。このように細長いライン状の照明を行うことが可能であり、検査用途などに役立つことが期待される。

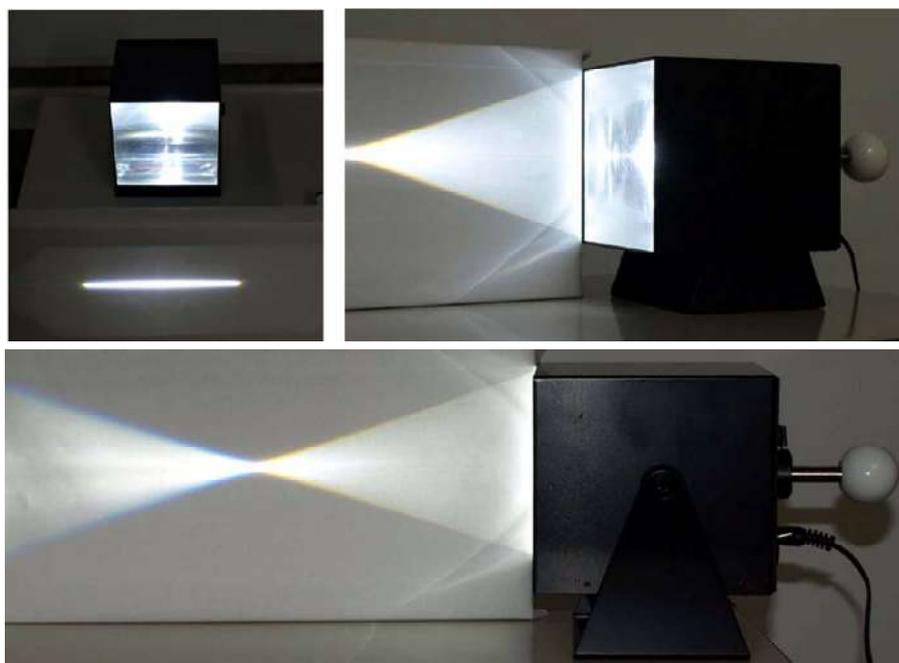


図8-18. ライン照明型ホロライト

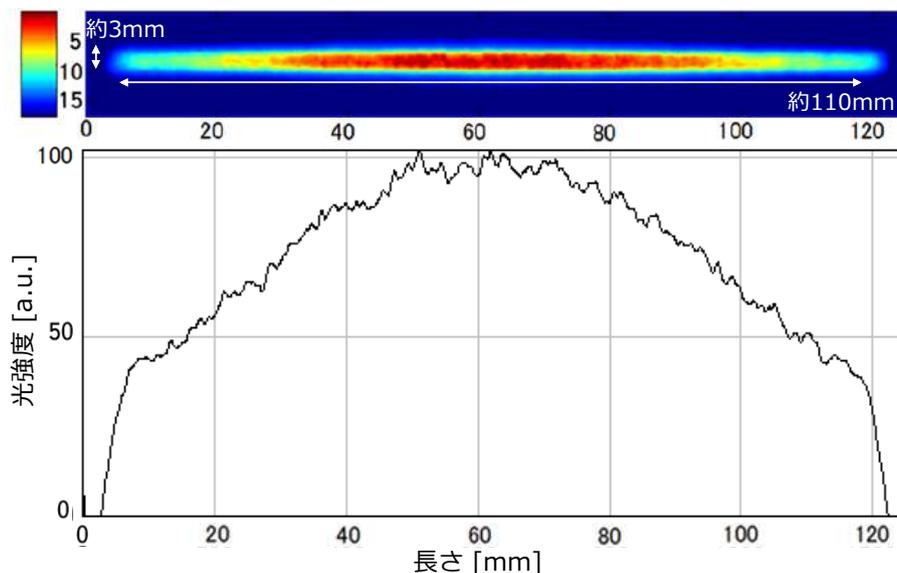


図8-19. ライン照明型ホロライトの光量分布 (照明距離15cm)

(3) 集光照明型 (HL03)

集光照明型ホロライトは、複数の樹脂レンズを組み合わせることで実現した。図8-20は、顕微鏡用照明に応用したものである。装置前面から離れた1点へ集束光を発生することが可能である。リアボールの前後移動により、照明距離と照明領域を調節することができる。非常に高い光強度を得ることが可能であり、集光領域を数mm角まで狭くすることができる。集光照明型ホロライトは、標準型ホロライトの平行光照明時と比較して、100倍以上に光強度を高めることが可能である。

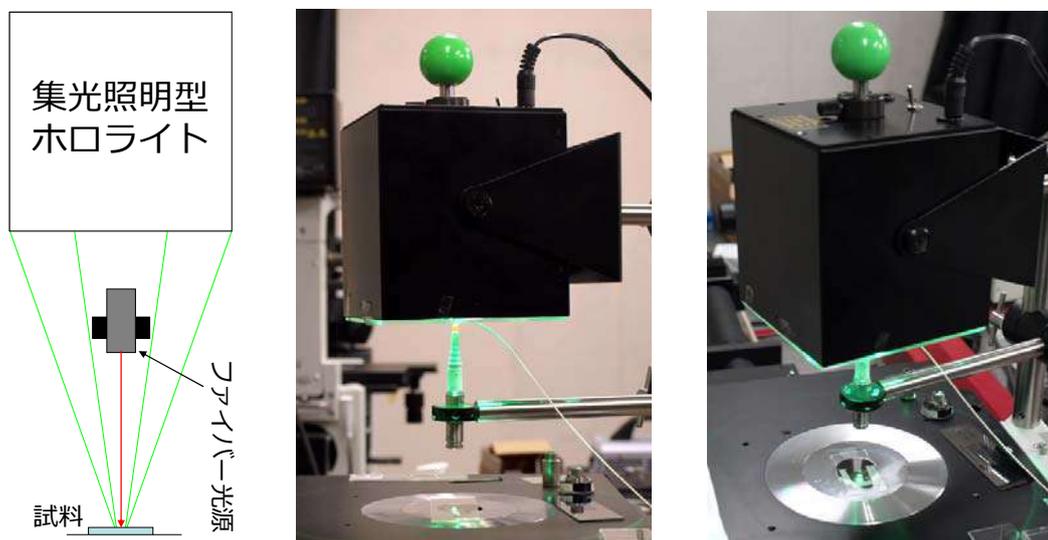


図8-20. 集光照明型ホロライトの顕微鏡応用

8-4-2 ホロライトの形態

(1) 直列接続型

ホロライトの持つキューブ型筐体構造は、隙間なく複数のホロライトを接続することが可能である。図8-21は、赤色照明ユニット5個を直列接続したホロライトである。図8-22は、直列接続型ホロライトの照明光である。複数のホロライトを用いて、必要な領域を照明することができる。



図8-21. 直列接続型ホロライト (赤色照明ユニット5個)



図8-22. 直列接続型ホロライトの照明光



図8-23. 直列接続型ホロライトの背面

図8-24は、白色・電球色・赤色・緑色・青色照明ユニット各1個、計5個を直列接続したホロライトである。このように異なる照明色のホロライトを組み合わせて使用することができる。図8-25は、5色直列接続型ホロライトを地面に沿って照明した例である。このように平坦な地面に対して、光の道を作成することができる。図8-26は、5色直列接続型ホロライトを夜空に向けて照明した例である。このように、夜空に多数の光束を表現することが可能である。



図8-24. 5色直列接続型ホロライト（白色・電球色・赤色・緑色・青色照明ユニット各1個）

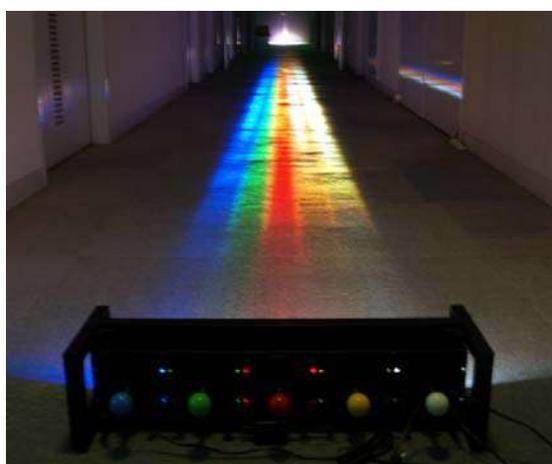


図8-25. 地面に沿って照明



図8-26. 夜空に向かって照明

(2) 並列接続型

図8-27は、直列接続型ホロライトを並列に接続した並列接続型ホロライトである。図8-28のように、複数のホロライトを用いて、大面積化することができる。

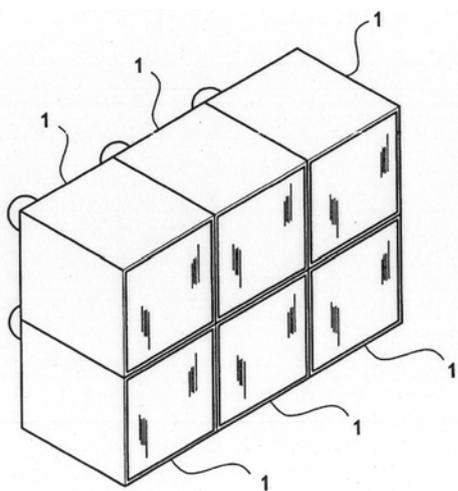


図8-27. 並列接続型ホロライト



図8-28. 並列接続型ホロライトの一例

図8-29は、64個並列接続型ホロライトの照明時の様子である。64個並列接続型ホロライトは、8個直列接続型ホロライトを8組並列に接続されている。消費電力約230Wでありながら、高い光強度と高い指向特性を有している。横置き設置も可能である。

図8-30のように、必要なユニット部のみ点灯させることができる。このように、簡単な文字を表現することが可能である。



図8-29. 64個並列接続型ホロライト

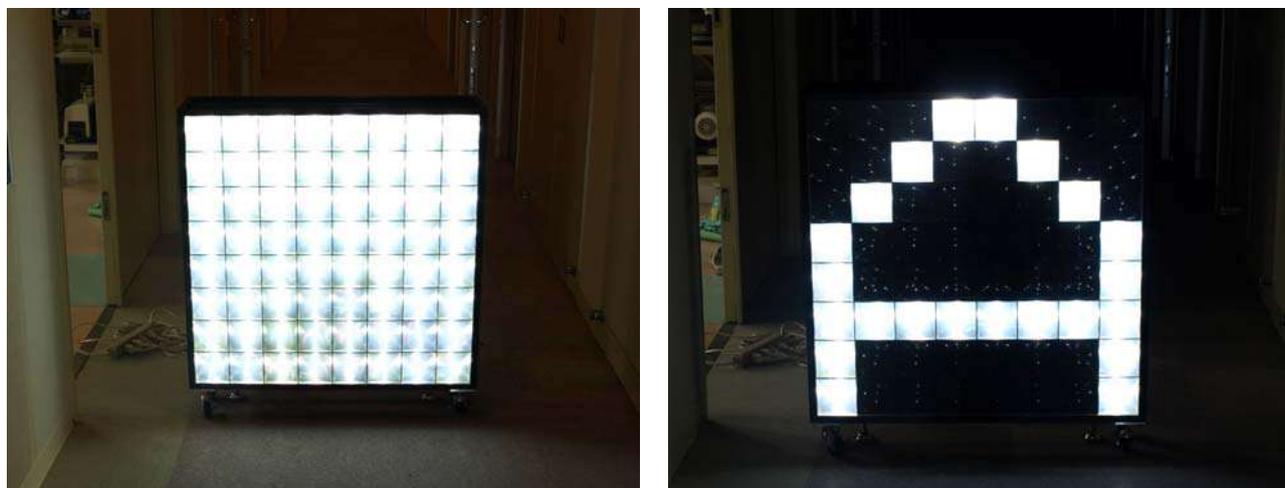


図8-30. 64個並列接続型ホロライトの全点灯と文字表示

8-4-3 ホロライトの機能

(1) 乾電池対応 (一D)

図8-31は電池対応型ホロライトの底面図である。内部に単三充電電池を内蔵でき、約4時間使用できる。電池対応型の電源スイッチは三点式であり、上方向でAC電源、下方向で乾電池駆動できる。

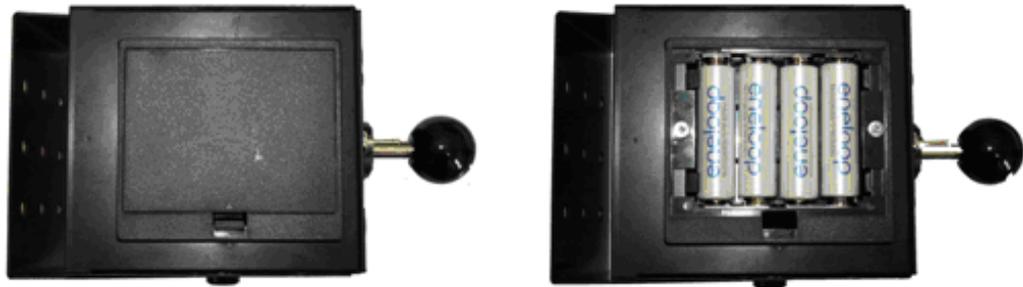


図8-31. 電池対応型ホロライトの底面図 (左：電池カバー有 右：電池カバー無)

(2) 光量可変 (一V)

ホロライトは、ACアダプタを用いて一定の電流値で駆動することが可能であるが、光量を可変することはできなかった。ユーザーからの要望により図8-32に示す調光電源[PS-D1]を開発した。図8-33は、光量可変型ホロライトである。図8-33①②③のように、前面のボリューム調整により、手動で光量を段階的に調整することができる。さらに、外部制御により照明の点滅や光量調整をすることができる。

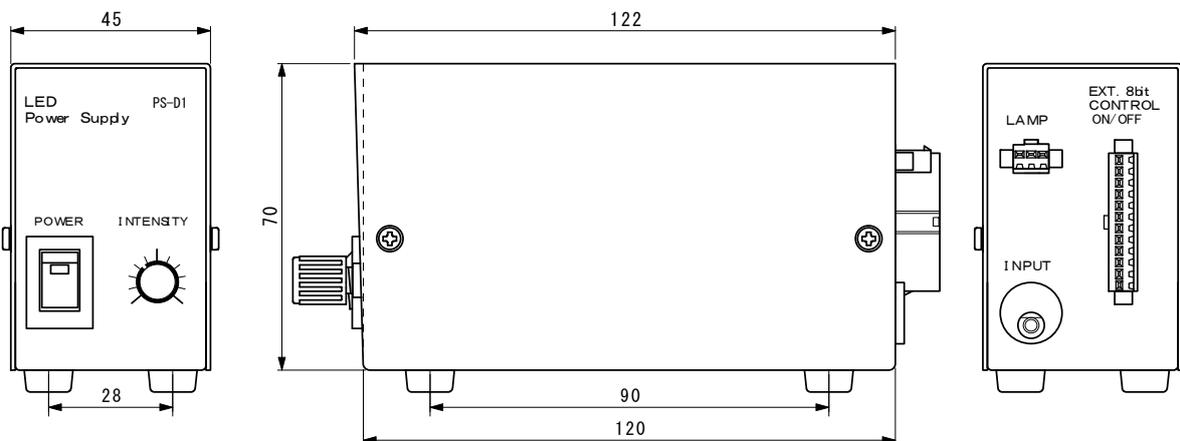


図8-32. 調光電源 (PS-D1)



図8-33. 光量可変型ホロライト (①光量最大 ②光量中間 ③光量最小)

(3) 光量均一 (一A)

ホロライトは、指向性の高い平行光を照明することができるが、照明領域全体の光量分布を一様にすることは困難である。ユーザーからの要望により光量均一型ホロライトを開発した。一般的に、光量の均一化のために、拡散板などが用いられるが、ホロライトの特徴である高い指向特性は犠牲になる。そこで、光量を均一化するための光強度フィルターを作成して、ホロライトに導入した。

図8-34は、標準型ホロライトの光量分布である。図8-34左は、デジカメで撮影した強度画像である。図8-34右は、画像横軸方向のプロファイルである。周辺部に向けて光強度が減少している。

図8-35は、光量均一型ホロライトの光量分布である。光強度が均一になっていることが分かる。

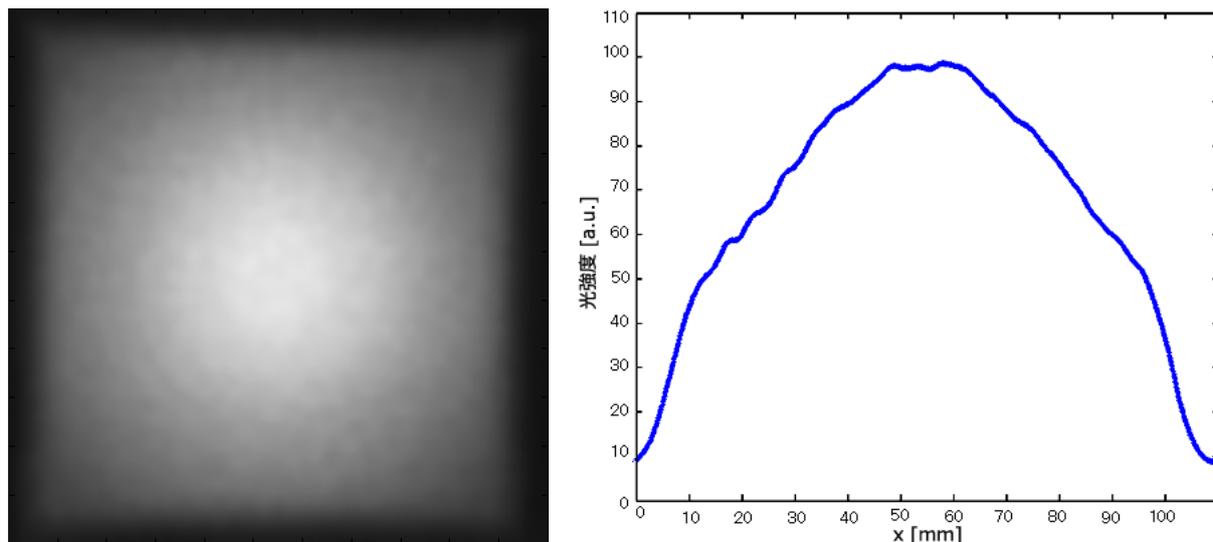


図8-34. 標準型ホロライトの光量分布 (左：強度画像 右：横軸強度プロファイル)

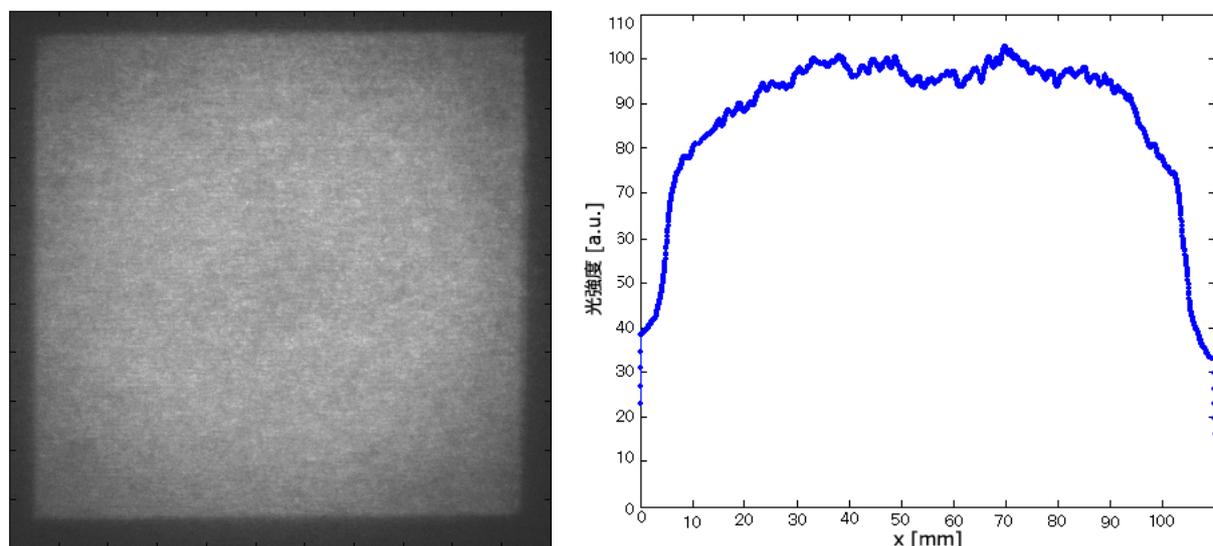


図8-35. 光量均一型ホロライトの光量分布 (左：強度画像 右：x軸プロファイル)

(4) 線形偏光 (一P)

ホロライトは、高輝度LEDを用いており、照明光は無偏光であるが、ユーザーからの要望により線形偏光型ホロライトを開発した。ホロライト内部に直線偏光フィルターを装着した直線偏光型ホロライトは、直線偏光特性を持つ照明光を発生することができる。検査用途などに役立つことが期待される。

8-5 ホロライトの応用

本節では、ホロライトのホログラム再生応用、検査応用、演出応用について説明する。

8-5-1 ホログラム再生応用

従来のホログラム再生用照明にはハロゲンランプなどが用いられ、指向性、発熱性、消費電力の問題があった。ホロライトはこれらの問題を解決する照明装置である。ホロライトによるホログラム再生は、奥行きのある3次元物体を高鮮明に再生することができる。さらに、並列接続により照明装置の大型化により、大型ホログラムの再生にも対応できる。

(1) アナログホログラム再生用

図8-36①は、ホロライトを用いたホログラム再生用の箱型装置「ホロボックス」の構成図である。3個直列接続型ホロライトを3並列設置している。図8-36②はホロボックスの側面写真である。図8-36③は、ホロボックスによるアナログホログラム再生像である。ホログラムの近くからの照明で高品質なホログラム再生像が観察できることが分かる。図8-37は、同様にホロボックスを用いて再生したヴァイオリンのアナログホログラムである。上下左右の異なる視点からホログラム再生像を楽しむことができる。

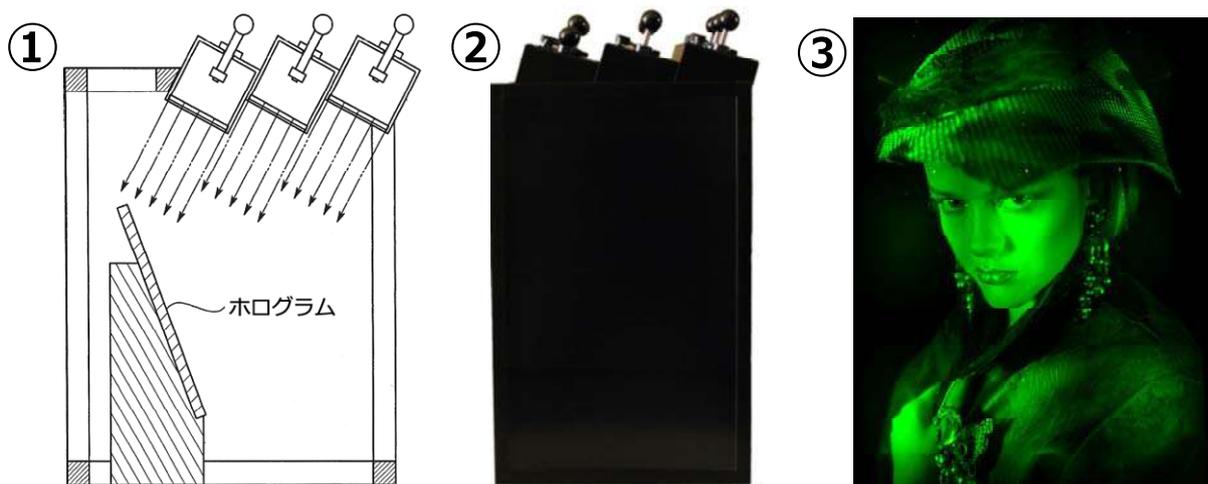


図8-36. ホロライトを用いた「ホロボックス」によるホログラムの再生と再生像

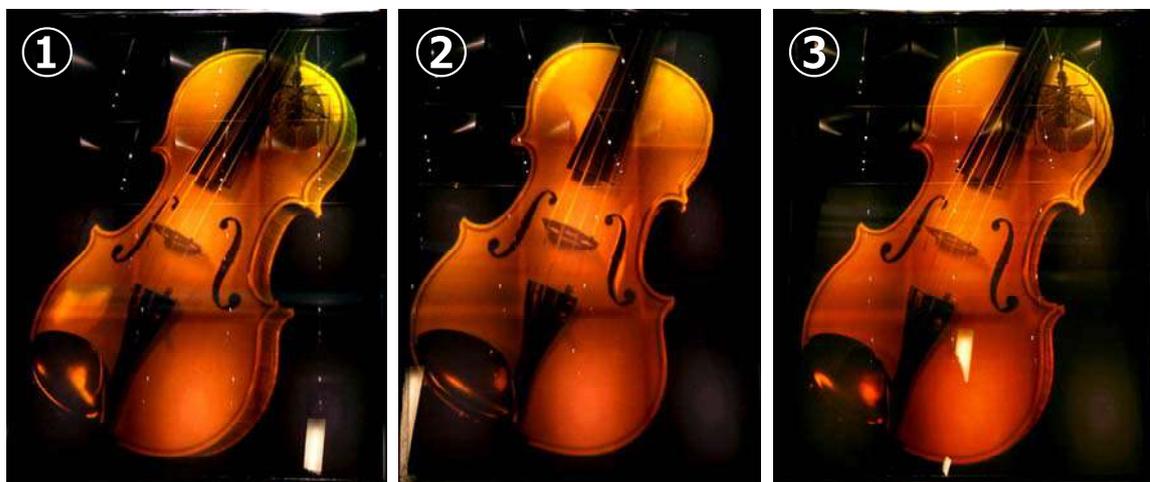


図8-37. ヴァイオリンのアナログホログラム再生 (①左視点 ②正面視点 ③右視点)

(2) デジタルホログラム再生用

図8-38は、広告宣伝用に作成した会社のロゴマークのデジタルホログラム用3Dデータである。浜松ホトニクス製のホログラフィックプリンターを用いて、3Dデータからデジタルホログラムを作成した。ホログラムの左斜め45度方向からの平行光照明でホログラムが再生するように設計している。

図8-39は、製作したデジタルホログラムの再生の様子である。このように、良好なホログラム再生像を得ることができる。

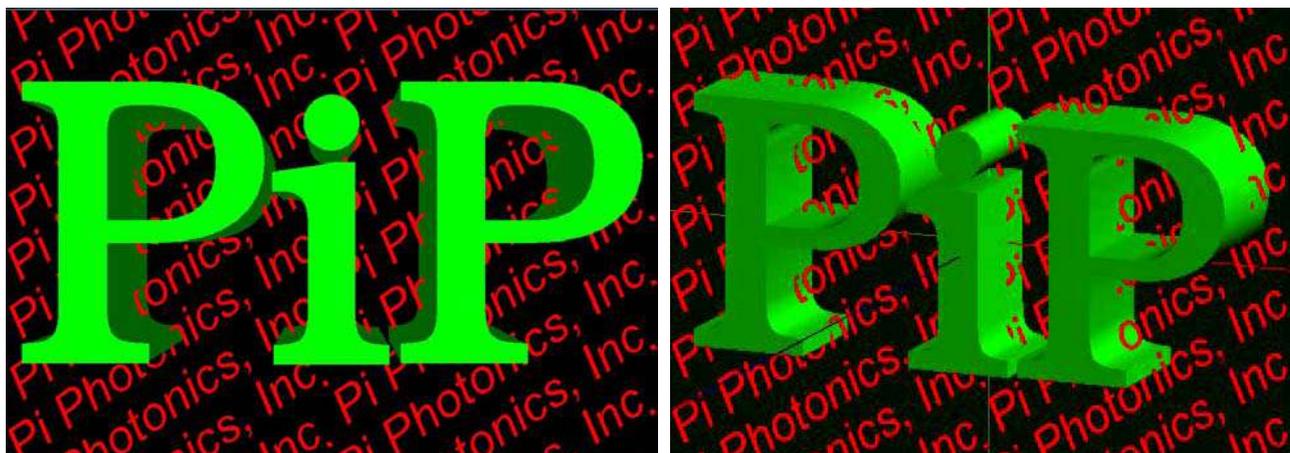


図8-38. デジタルホログラム用3Dデータ

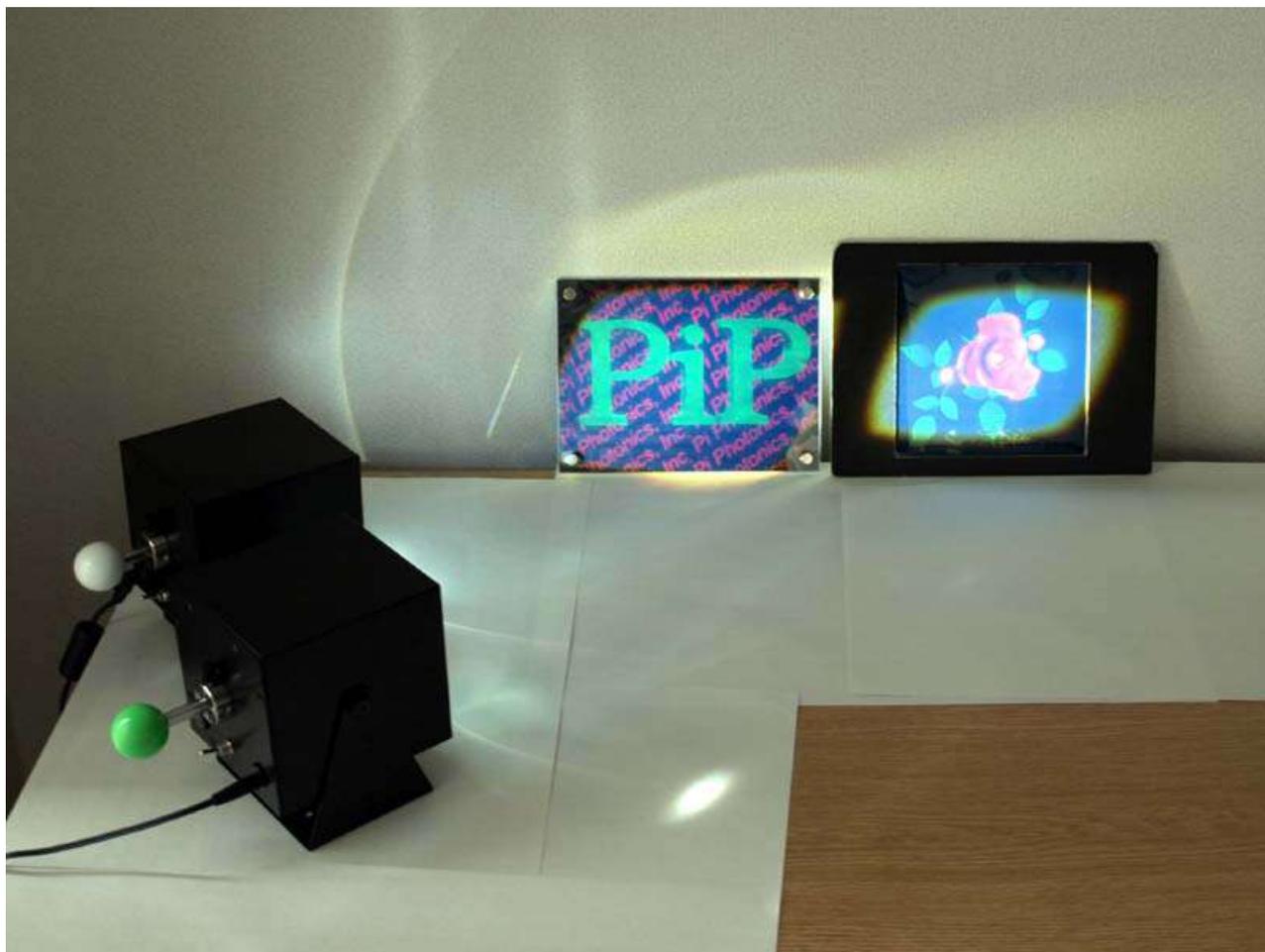


図8-39. デジタルホログラムの再生

8-5-2 検査応用

ホロライトから発する高い指向特性を持つ照明光は検査用途に適しており、レンズやフィルムなどの傷や埃などの異物検査、金属表面の外見検査、塗料やレジスト層などのムラ検査などに役立つ。

(1) 目視検査用

図8-40は、目視検査用ホロライトスタンドである。

使用環境に合わせて、任意の高さH、横幅W、奥行きDで提供できる。

図8-41は、ホロライトスタンドを用いた照明時の様子である。

図8-42は、ガラス表面の傷を透過照明により観察した例である。

直接ガラスを観察した場合、傷部分のコントラストは低く観察は困難であるが、ホロライトを用いた平行光照明により、欠陥部位を高いコントラストで容易に発見することができる。

(2) 自動検査用

図8-43は、金属棒の外観自動検査におけるカメラ撮影画像と画像処理の結果である。

結果より、金属表面の状態を判断するための特徴量を得ることができる。

このように、ホロライトを用いることにより、目視検査における作業効率の向上、自動検査における検査能力の向上が期待できる。

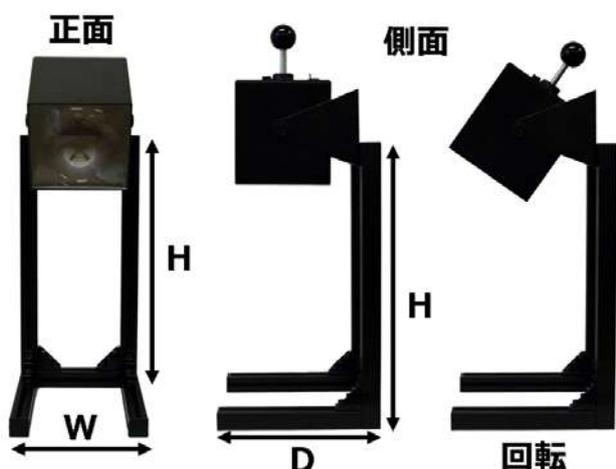


図8-40. ホロライトスタンド

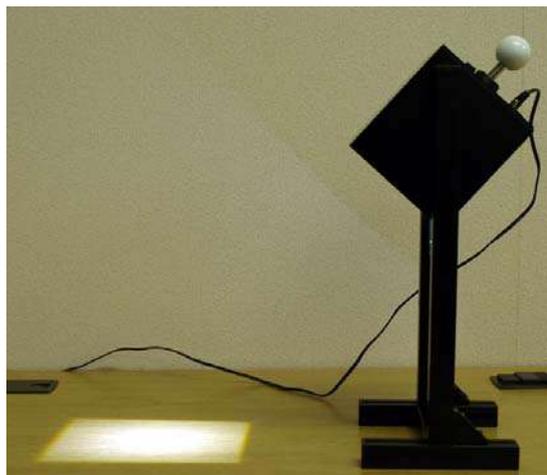


図8-41. 照明時の様子



図8-42. ガラス表面の傷検査

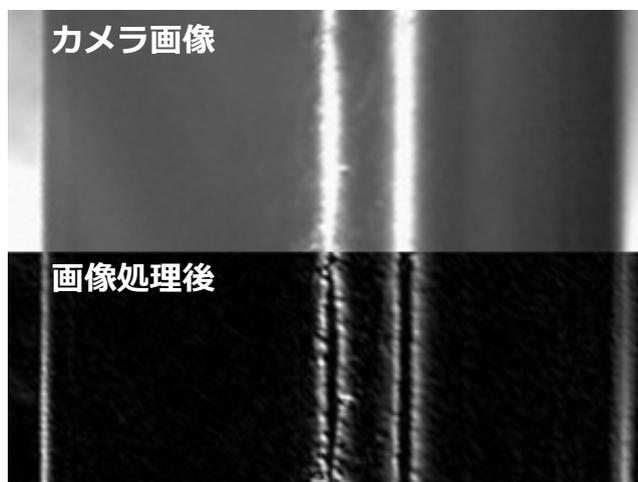


図8-43. 自動検査によるカメラ画像と画像処理

8-5-3 演出応用

ホロライトから発する高い指向特性を持つ照明光は演出用途にも適しており、注目度の高い効果的な演出が可能である。下記に、展示会用途と屋外イベント用途について説明する。

(1) 展示会用

図8-44は、2008年8月20日から8月22日まで催された Security Solution 2008 で、IT関係の会社展示ブースに8個直列接続型ホロライト2式を設置した様子である。

設置したホロライトは白2個青5個白1個の順に直列接続されている。

図8-44①は、右斜め方向からの見たブース全体の様子である。

図8-44②は、展示ブース正面から見た様子である。

図8-44③は、展示ブース左斜め方向からの様子である。

図8-44④は、ホロライト設置部の拡大写真である。

ホロライトの平行光の特性を用いて、平面な壁に対して浅い角度から照明することにより、壁面に光線を表現することができる。

以上の様に、効果的な演出を行うことが可能である。



図8-44. 展示会「Security Solution 2008」でのホロライト設置の様子

図8-45は、2008年9月30日から10月4日まで催された CEATEC JAPAN 2008 で、広告配布会社の展示ブースに21個直列接続型ホロライト2式、5色直接接続型ホロライト1式、青色ホロライト1台を設置した様子である。

図8-45①は、5色直接接続型ホロライトを展示台下部の金属をカラフルの着色した様子である。

図8-45②は、21個直列接続型ホロライト2式を用いて、展示台を明るく照明した様子である。

図8-45③は、装置を前面から見た様子である。

図8-45④は、21個直列接続型ホロライトの上部に設置した青色ホロライト1台を、展示会場の出入り口に向けて照明している様子である。100m程度遠方にあるにも関わらず、ホロライトの存在を確認することができる。

以上の様に、効果的な演出を行うことが可能である。



図8-45. 展示会「CEATEC JAPAN 2008」でのホロライト設置の様子

(2) 屋外イベント用

8-4-2 (1) 図8-27で示したように、ホロライトを夜空に向けて照明することにより、光束を表現することが可能である。これを応用して屋外イベントなどで、注目度の高い演出が可能である。

図8-46は光像生成システムの構想図である。ホロライトユニットの直方体構造を用いて側面を接して配置することにより、光線方向の調整が容易になり、これらの直列接続型ホロライトを多数配置することにより、空中に光の像を生成するシステムである。

図8-30の64個並列接続型ホロライトを用いて、図8-47①の形態で屋外照明実験を行った。

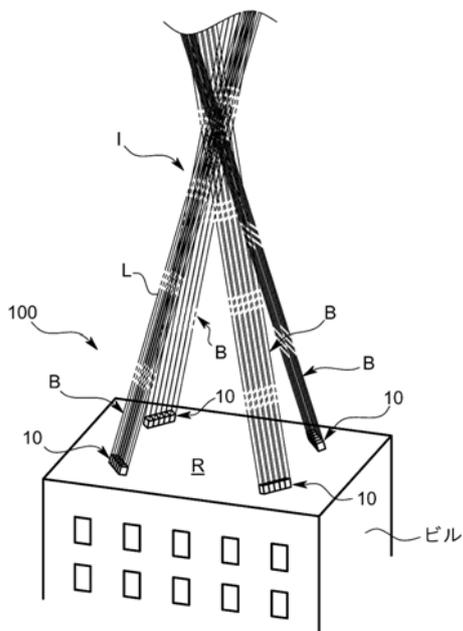


図8-46. 光像生成システムの構想図

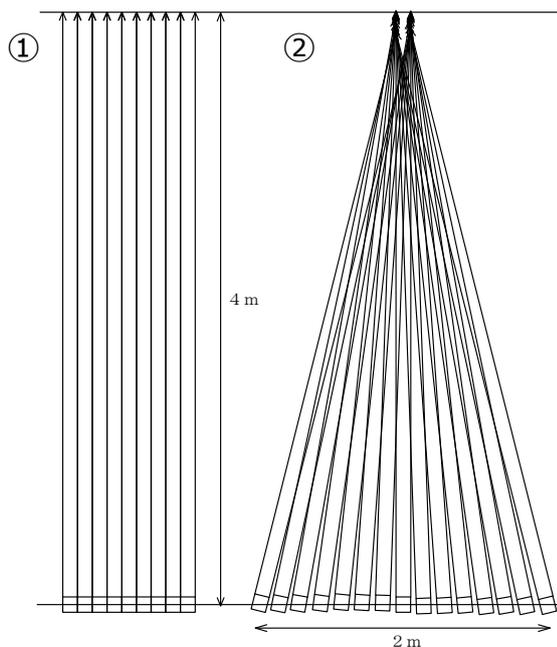


図8-47. 屋外照明実験の形態



図8-48. 64個並列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験

図8-48は、64個並列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験を示す。デジタルカメラを用いて露光時間30秒間で撮影を行った。複数の光束から構成される光像を観察することができた。

次に、図8-47②の形態で屋外照明実験を行った。

図8-49は、19個直列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験の様子である。それぞれの照明ユニットの角度を少しずつ調整して装置から4m離れた地点で全ての照明光が集まるようにした。

図8-49①は、19個直列接続型ホロライトの全体図である。

図中の数字はデジタルカメラで撮影を行った地点である。デジタルカメラで露光時間を30秒設定して撮影を行った。以下にそれらの撮影結果について示す。

図8-49②は、装置横側の地点②から撮影した光像生成の様子である。

平らな平面状の光線光束を観察することができる。

図8-49③は、装置正面手前の地点③から撮影した光像生成の様子である。

装置上空4mの地点で光線が交差し、その交差点が明るく光っている様子が観察できる。

図8-49④は、装置斜め手前の地点④から撮影した光像生成の様子である。

先ほど同様に、装置上空4mの地点で光線が交差し、その地点が明るく光っている様子が観察できる。

以上のとおり、光像生成の確認ができた。しかし、光像の背景が真っ暗である夜空でないと、光像を観察することは困難であり、ミスト発生装置などと併用することが有効であることが考えられる。

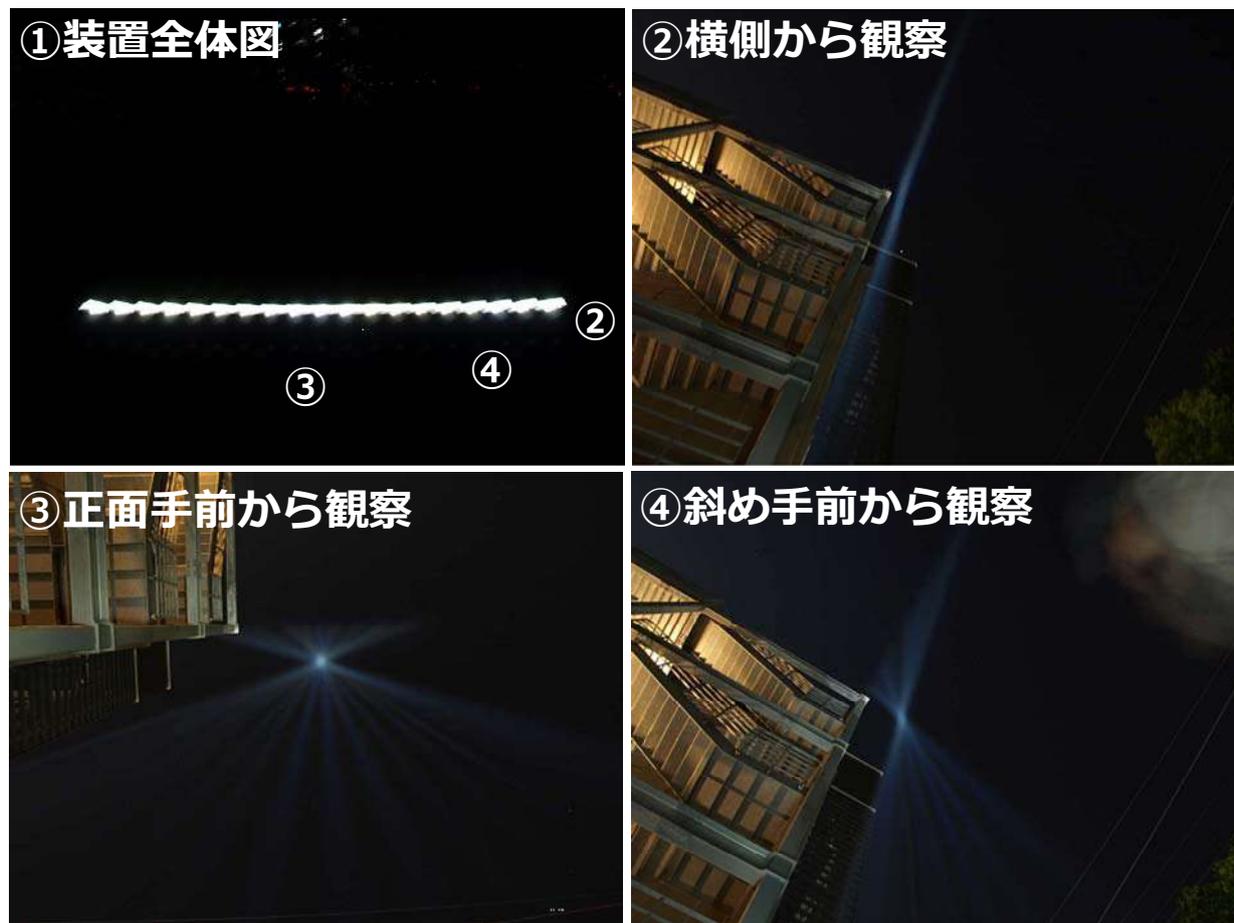


図8-49. 19個直列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験

8章6-2節で示す展示会[14]第9回掛川ひかりのオブジェ展に設置した照明装置について示す。

図8-50は、設置した64個並列接続型ホロライトの概観写真と照明時である。

図8-50左は、64個並列接続型ホロライトの概観写真である。

装置は防水のために全体をアクリルパネルで覆われている。

装置外周部は黒色アクリルパネル、照明部は透明アクリルパネルを用いている。

図8-50右は、64個並列接続型ホロライトの照明時の写真である。

緑色、赤色、青色、電球色の領域を設けている。

図8-51は、64個並列接続型ホロライトの屋内照明実験の様子である。

図8-51左は、通常撮影における照明の様子である。

図8-51右は、露光時間を短くして、ホロライト個々の照明光を撮影した様子である。

それぞれの照明ユニットの光軸を調整し、真っ直ぐ上方へ照明光が発生していることがわかる。



図8-50. 64個並列接続型ホロライト（左：概観写真 右：照明時）



図8-51. 64個並列接続型ホロライトの屋内照明実験（左：通常撮影 右：高速撮影）

[2] 2007年11月9日：ホログラフィックディスプレイ研究会

ホロライトを開発するきっかけになった展示会である。光産業創成大学院大学イベント「光産業創成 week in Hamamatsu」企画の一環で、ホログラフィックディスプレイ研究会が催された。その展示コーナーにホロライトの改良機を展示した。予想以上に評判が良かった。



光産業創成 week in Hamamatsu企画

[3] 2007年11月9日、10日：しずおか新産業技術フェア 2007

しずおか産業創造機構主催の展示会であり、光産業創成大学院大学ブースで出展した。静岡市で催された。前記、ホログラフィックディスプレイ研究会と期間が重なっていたために10日（土）のみの参加であった。デジタルホログラムとホロライトを展示した。子供達がホログラムに群がっていた。



しずおか産業創造機構主催

[4] 2007年11月11日：ベンチャーエキスポ2007

大阪で初めての展示会であり、光産業創成大学院大学ブースで出展した。大型デジタルホログラムをブース中央に配置した。大きな宣伝効果が得られ、多数の人が足を止めて、ホロライトをアピールすることができた。テレビ大阪のインタビューを受け、ホロライトの紹介が放送された。引き合いも複数件得られた収穫のある展示会であった。



テレビ大阪でホロライト紹介

[5] 2008年1月31日～2月1日：第18回 はまつメッセ2008

浜松市で最も大きな展示会であり、光産業創成大学院大学ブースで出展した。浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業で開発した直列接続型ホロライトの試作機を展示した。浜松市の企業との接点ができる収穫のある出展であった。



直列接続型ホロライト展示

[6] 2008年2月29日：ホログラフィックディスプレイ研究会 アニュアル展示会

前回、好評であったホログラフィックディスプレイ研究会のアニュアル展示会に出展した。アニュアル展示会では、多数のホログラムが展示される。ハロゲンライトを多数使用するために、会場の電気許容量を超えることがあった。ホロライトは低消費電力であるために役立つことが実証された。他社のホログラム展示でもホロライトが用いられており、多少、ホロライトが普及したことを感じた。



[7] 2008年3月14日：オプトロニクス HAMAMATSU フォーラム 2008

浜松市主催の展示会に出展した。展示内容は、浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業で開発した標準型ホロライト、電池対応型ホロライト、直列接続型ホロライト、並列接続型ホロライトである。中央に配置したアナログホログラムは明るく高鮮明な三次元画像である。多くの方が、ホログラムの観察のために立ち止まっていた。ホログラムの集客力の高さを実感した。



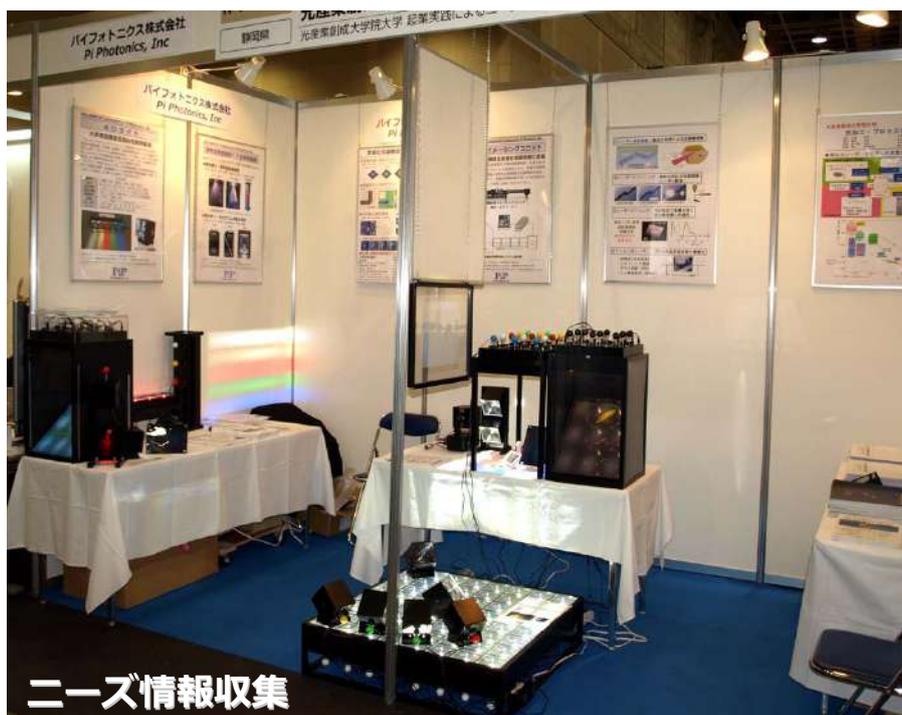
[8] 2008年5月21日～23日：第14回建築リフォーム&リニューアル展

ホロライトの異分野への市場開拓のための情報収集を目的として、光産業創成大学院大学ブースで出展した。ホロライトの単純かつ分かりやすいデモ展示により、多数の反応を頂いた。分かりやすい技術が異分野への参入の際に有効であることを実感した。



[9] 2008年5月28日～30日：中小企業総合展 2008 in Kansai

ホロライトの販路開拓を目的として、光産業創成大学院大学ブースで出展した。多数の引き合いを頂いたが、デモ機を借りることを目的としている要望も多数あった。デモ機を安易に出すことに、注意をする必要があることを実感した。



[10] 2008年6月11日～13日：'08画像センシング展

検査用途向けの販路開拓を目的として、浜松市よりブースを提供してもらい出展した。会社単独で、県外で催される大型展示会で初めて出展した。非常に多くの引き合いを頂いたが、展示会後のフォローが不十分であり、営業力向上の必要性を実感した。また、ホロライトの価格設定の見直しを行う機会となった。後日、隣のブースにいたディスクテック社がホロライトの販売特約店になった。



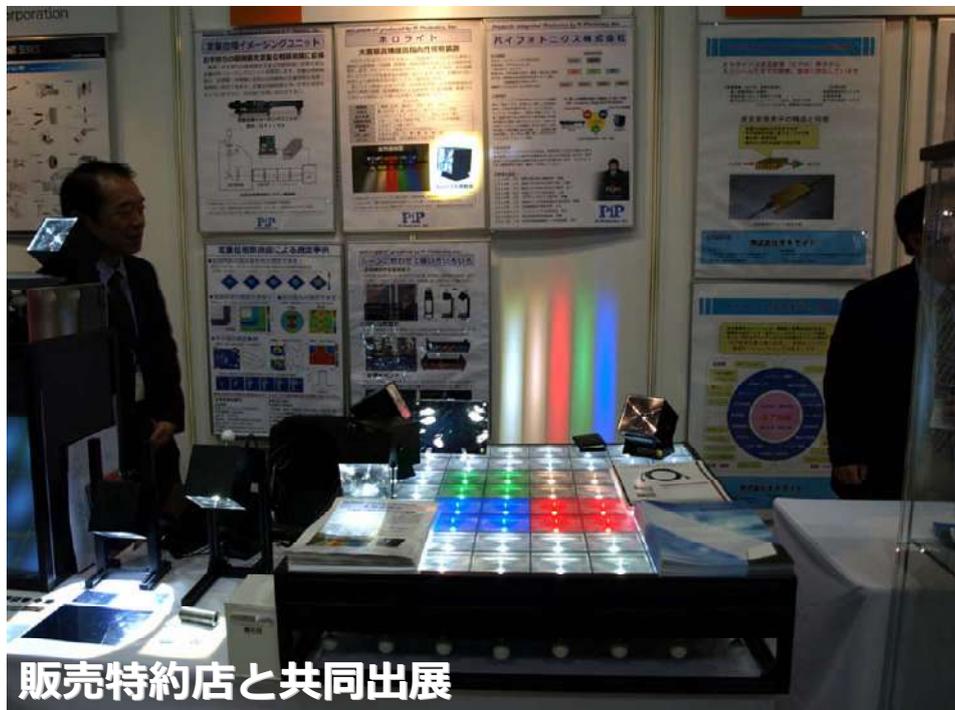
[11] 2008年10月8日：第2回しんぎんビジネスフェア 2008

浜松信用金庫主催の展示会に出展した。浜松市周辺の企業に対しての知名度を上げることが目的である。ホロライトをブースの演出用途に使用した。10月より採用したパート従業員も展示員活動を行った。多くの浜松市の企業が参加しており、一定の目的は達成した。



[12] 2008年10月22日～24日：光源2008

初めて会社単独でパシフィコ横浜で催される展示会に出展した。オプトロニクス社主催の展示会であり、初めて雑誌に広告宣伝も行った。主に、ガラスなどの透明体の検査向けの販路開拓を目的とした。それほど規模の大きくない展示会であったが、精度の高い顧客ユーザーが参加していた。今回、初めて販売特約店と共同出展を行い、展示会後のフォローは販売特約店に一任した。



販売特約店と共同出展

[13] 2008年11月26日～28日：中小企業総合展 2008 in Tokyo

ホロライトの販路開拓を目的として、光産業創成大学院大学ブースで出展した。今回、初めてライン照明型ホロライトの参考展示を行った。ダブルライン照明型ホロライトによる効果的な演出を行った。不景気の影響のためか引き合いは少なかった。



**ライン照明型
ホロライトによる
効果的な演出照明**

[14] 2008年12月7日～2009年1月23日：第9回掛川ひかりのオブジェ展

ホロライトの演出用屋外照明の販路開拓を目的として、掛川市のイベントであるひかりのオブジェ展に64個並列接続型ホロライトの屋外展示を行った。展示期間は1ヶ月半である。隣にある街灯が明るいために、想定していた程度に光線像を生成できなかった。掛川商工会議所会頭賞を受賞した。



初の屋外展示

[15] 2009年2月5日～2009年2月6日：第19回 はまつメッセ2009

昨年射に引き続き光産業創成大学院大学ブースで出展を行った。昨年と比較してブースの場所が格段に良くなり、多数の引き合いを頂いた。しかし、不景気の影響で商談がまとまるケースはなかった。



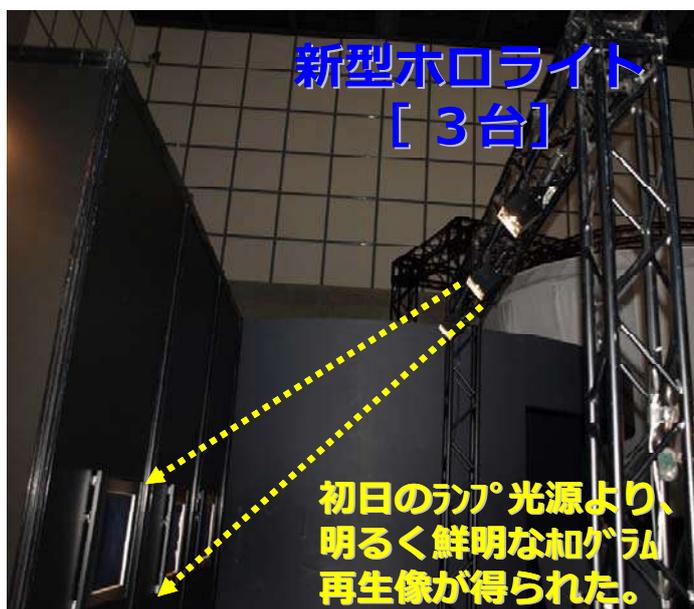
[16] 2009年2月18日～2009年2月20日：nano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展
 ホロライトの販路開拓を目的として、光産業創成大学院大学ブースで出展した。不景気であるが、逆に新情報調査のために多数の異業種の方々が参加していた。共同開発案件の引き合いが複数件あった。



[17] 2009年2月26日～2009年2月28日：フォトンフェア2009

浜松ホトニクス社が5年に1回催している単独展示会が浜松で行われた。光産業創成大学院大学のミニブースにホロライトを展示した。展示ブース外に大型ホロライト（64個並列接続型）を設置して天井に光線を出して注目を集めた。

また、浜松ホトニクス社のホログラム展示ブースにおいて、2日目からハロゲンランプをホロライトに交換した。結果として、明るく鮮明にホログラムが再生され、多数の来場者の注目を集めることができた。



[18] 2009年4月22日～2009年4月24日：レンズ設計・製造展 2009

ホロライトの検査応用に関する販路開拓を目的に2回目の単独出展を行った。様々なホロライトを一斉に展示した。新開発の紫外光に対応したホロライトのデモ展示も行った。多数の引き合いと具体的な共同開発案件の話を受けた。最近では、展示会に出展すれば、多数ニーズが集まるようになってきた。



[19] 2009年5月27日～2009年5月29日：中小企業総合展 2009 in Kansai

ホロライトの販路開拓を目的として、光産業創成大学院大学ブースで出展した。鳥インフルエンザ流行の影響によりマスク着用であった。その影響のためか、出展数・来場者数共に少なく、引き合いについても少なかった。



[20] 2009年7月21日～2009年7月22日：第3回ビジネスマッチングフェア

浜松信用金庫主催の展示会で、ホロライトの広告宣伝を目的として出展した。不景気の影響で他社からの売り込みが多かったが、新しい演出用途としての引き合いを得ることが出来た。また、初めて空中光線像の展示を行った。反応は良好であり、今後の展示会に期待できる内容であった。



浜松信用金庫主催展示会



空中光線像の初披露

8-6-3 新聞記事掲載

照明機器に関する記事が、日本経済新聞の静岡版に掲載された。内容を記事8-1に示す。

平成19年度浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業で開発したホロライトが実用化され、製品を受注した内容が記載されている。

記事8-1. 日本経済新聞 [2008年5月10日付]

療機器業界から受注。静岡大発ベンチャーのブルックマン・ラボ(同)も高解像度の画像データのデジタル変換器を製品化した。

○七年度は五社全体で約五千万円の受注につなげ、売上高ベースで補助

金のほぼ半分を達成した。○八年度中には一億円に達する見通しだ。市産業政策課は「アイデアを温めていたベンチャーがリスクを取って新製品に挑戦したため」とみて、ベンチャーにとって数百万円以上かかる試

作品を作るのは大きな負担。補助金の後押しで、ベンチャーが動き出した面がありそうだ。しかし税収ベースで補助金相当額を回収するには交付先企業が十億〜百億円の売り上げを達成する必要がる。市は一度

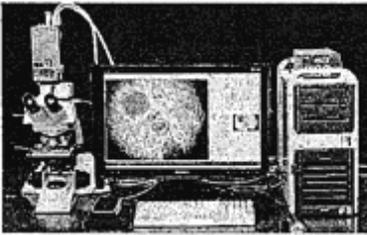
開発費補助事業」は光・電子関連技術を活用した中小企業の新製品開発を支援する制度。市町村がベンチャーを対象に総額一億円の補助金を交付するのは全国でも珍しい。三月末までに八社が試作品を製作。展示会への出品など営業活動に活用して販売につなげた。撮影した対象物の色を忠実に再現する顕微鏡カメラシステムを開発したパパラボ(浜松市)は医療メ

浜松市の中小向け開発支援

実際の受注につながった
主な補助金交付先企業

社名	開発テーマ	交付額
ブルックマン・ラボ	高速高解像度画像データのデジタル変換器	1478万円
パパラボ	色忠実顕微鏡カメラシステム	1000万円
ディーシーディーラボラトリー	独自技術を応用した画像処理システム	872万円
パイフォトンクス	ホログラムを正確に表示する高輝度照明装置	360万円

同市の「オプトロニクスクラスター創成事業化



開発費補助事業」は光・電子関連技術を活用した中小企業の新製品開発を支援する制度。市町村がベンチャーを対象に総額一億円の補助金を交付するのは全国でも珍しい。三月末までに八社が試作品を製作。展示会への出品など営業活動に活用して販売につなげた。撮影した対象物の色を忠実に再現する顕微鏡カメラシステムを開発したパパラボ(浜松市)は医療メ

開発費補助事業」は光・電子関連技術を活用した中小企業の新製品開発を支援する制度。市町村がベンチャーを対象に総額一億円の補助金を交付するのは全国でも珍しい。三月末までに八社が試作品を製作。展示会への出品など営業活動に活用して販売につなげた。撮影した対象物の色を忠実に再現する顕微鏡カメラシステムを開発したパパラボ(浜松市)は医療メ

開発費補助事業」は光・電子関連技術を活用した中小企業の新製品開発を支援する制度。市町村がベンチャーを対象に総額一億円の補助金を交付するのは全国でも珍しい。三月末までに八社が試作品を製作。展示会への出品など営業活動に活用して販売につなげた。撮影した対象物の色を忠実に再現する顕微鏡カメラシステムを開発したパパラボ(浜松市)は医療メ

光関連5社が製品受注

販路開拓なども後押し

8-7 知的財産権

照明機器に関連する知的財産権を下記に記載する。

- [1] 2007年9月12日 特願 2007-238415 「ホログラム展示装置」
- [2] 2008年2月4日 商願 2008-007616 「ホロライト *HOLORER-it!*」
- 2008年9月5日 商標登録 5164086 「ホロライト *HOLORER-it!*」
- [3] 2008年3月31日 特願 2008-092106 「直方体照明装置及びホログラム用照明装置」
- [4] 2008年7月18日 意願 2008-18629 「照明器具」
- 2009年4月24日 意匠登録 1361067 「照明器具」
- [5] 2008年9月22日 特願 2008-243317 「光像生成システム」
- [6] 2009年3月3日 特願 2009-49221 「照明装置」

図8-53は登録商標、図8-54は意匠商標を証するものである。



図8-53. 商標登録証

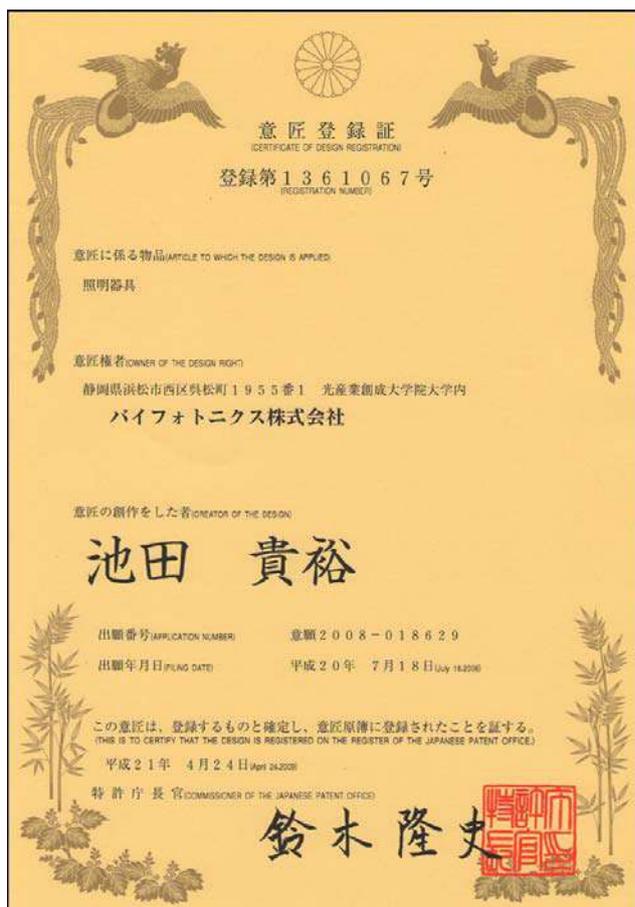


図8-54. 意匠登録証

8-8 まとめ

本章では、ホロライトに関する照明機器の事業化開発について詳述した。開発したホロライトは、大面積、高輝度、高指向性、低発熱性、低刺激性の特徴を有し、従来のホログラム照明で用いられるハロゲンランプで問題となる低指向性、発熱、高消費電力の問題を解決することができた。ホロライトを並列接続することで大型ホログラムの再生に対応可能とした。

また、展示会等の広報宣伝活動でのニーズ調査を行い、ホログラム再生用途以外である検査応用と演出応用の用途開発を行った。検査応用のために、ライン照明型、集光照明型、光量可変機能、光量均一機能、線形偏光機能を持つホロライトの開発を行った。演出応用のために、直列接続型、並列接続型のホロライトの開発及び、光像生成に関する屋外照明実験を行った。

照明機器事業の広報宣伝活動として、2件の記事執筆、20件の展示会出展を行い、1件新聞記事に掲載された。知的財産権として、4件の特許出願、1件の意匠登録、1件の商標登録を行った。

謝辞

本事業化開発の一部は、浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業による支援の元で行われた。

参考文献

[1] 池田貴裕, “大面積高輝度高指向性照明装置ホログラム用照明装置「ホロライト」と、その応用事例”, 映像情報インダストリアル, 40/12, pp.14-17 (2008).

第9章 パイフォトニクス株式会社の事業結果

本章では、パイフォトニクス株式会社の事業成績について述べる。事業成績として、販売件数による販売実績、売上高と収入とキャッシュフローと純資産の推移、事業報告書と決算報告書について示す。

9-1 販売実績

起業実践を通じて販売した取引機関と件数について記載する。取引機関には、販売顧客、販売商社が存在する。販売商社とは、販売顧客会社への販売会社である。2009年7月末時点で、取引機関数62、計122件の販売件数であった。販売特約店として、2008年8月に契約したディステック(株)と、2008年12月に契約したダイナテック(株)の2社がある。

図9-1は、販売件数の推移を示すグラフである。円グラフは各事業における販売件数の比率を示す。販売件数の比率として、測定機器は約2割、照明機器は約7割であった。

販売顧客（機関数62、順不同）

日本ペイント(株)、凸版印刷(株)、大日本印刷(株)、日本電信電話(株)、日本電気硝子(株)、浜松ホトニクス(株)、古河電工(株)、(株)ソニー・ディスクアンドデジタルソリューションズ、東洋ガラス(株)、アヴァンストレート(株)、パナソニック電工(株)、日本電子(株)、シャープ(株)、大日本スクリーン製造(株)、倉敷紡績(株)、グローリー(株)、(株)石崎本店、ムネカタ(株)、コニカミノルタセンシング(株)、小糸工業(株)、三井化学(株)、バイエルマテリアルサイエンス(株)、三豊工業(株)、(株)エム・アイ・エル、ノブオ電子(株)、スターライト工業(株)、(株)カイショー、(株)京葉レヂボン、新オプトウエア(株)、(株)希望光学システム、(株)ホットオート、(有)オプトデバイス、(有)ホーリーマイン、(社)ニューガラスフォーラム、日本放送協会、(独)情報通信研究機構、(独)食品総合研究所、基礎生物学研究所、北海道大学、山形大学、宇都宮大学、千葉大学、日本大学、日本女子大学、京都大学、立命館大学、関西大学、大阪大学、神戸大学、和歌山大学、徳島大学、広島市立大学、東京純心女子高校、ディステック(株)、ダイナテック(株)、日本機材(株)、福西電機(株)、大日本商事(株)、(株)東栄科学産業、丸山計測(有)、(株)双英理研、(株)池田理化

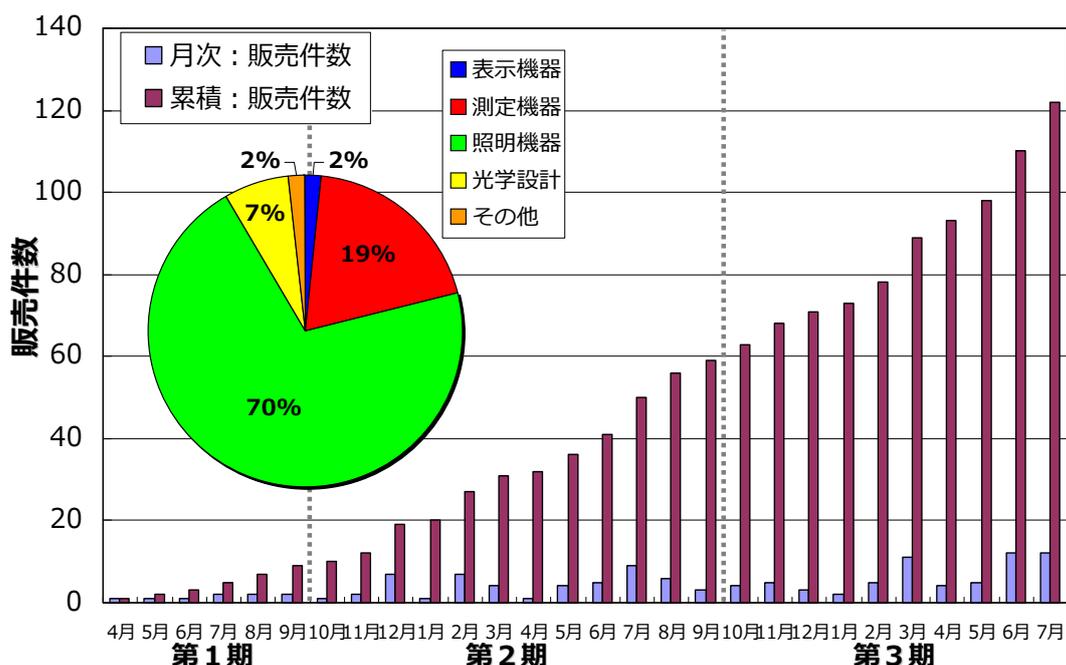


図9-1. 販売件数の推移

9-2 売上高と収入

起業実践を通じて得た売上高と収入について記載する。ここで、売上高とは、製品やサービス提供の対価として発生した金額である。収入とは、売上高に特別利益〔助成金補助金〕を合算したものである。

図9-2は、売上高の推移を示すグラフである。円グラフは各事業における売上高の比率を示す。

平成21年7月末時点における累積売上高は19.3百万円であった。

図9-3は、収入の推移を示すグラフである。円グラフは特別利益を含んだ収入の比率を示す。

平成21年7月末時点における累積売上高は30.4百万円である。

売上高の比率として、測定機器は約3割、照明機器は約4割であった。

収入の比率として、補助金収入が4割弱であった。

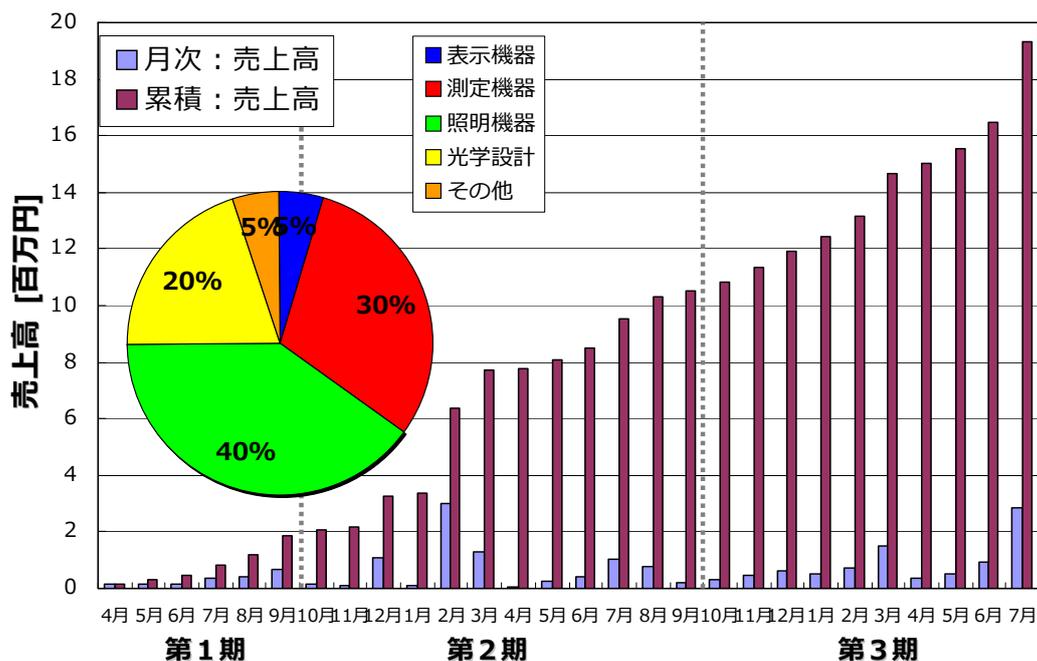


図9-2. 売上高の推移 (月次・累積)

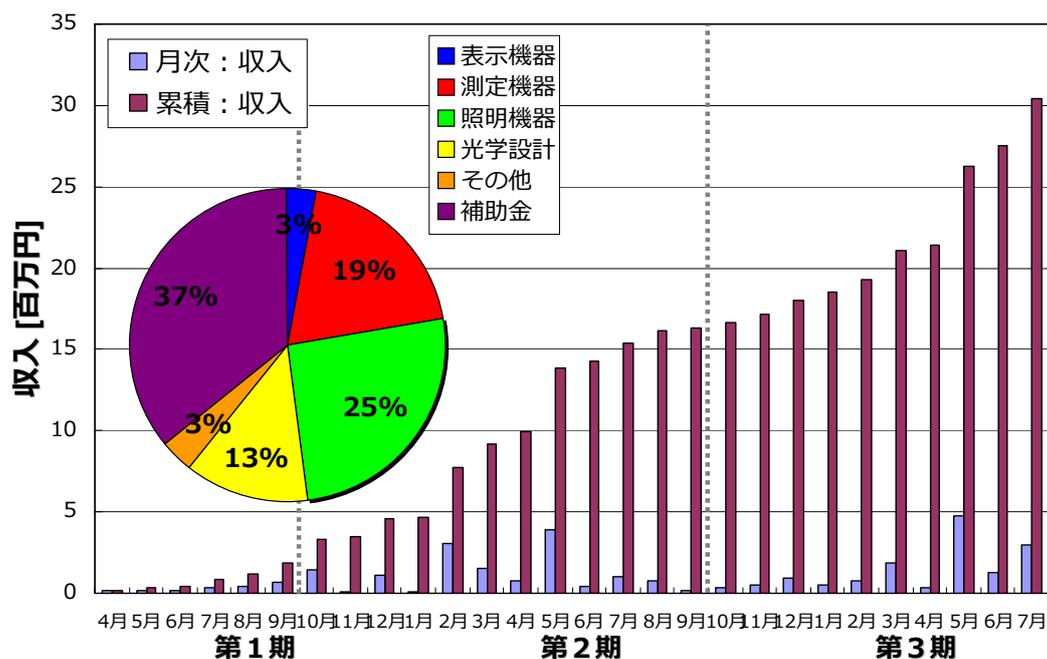


図9-3. 収入の推移 (月次・累積)

9-3 収入とキャッシュフローと純資産

起業実践を通じて収入とキャッシュフローと純資産の変動について記載する。キャッシュフローとは、現金と預金の合計額とした。純資産とは、会社の自己資産を表している。

収入とキャッシュフローと純資産共に、徐々に振幅が大きくなってきている様子が分かる。

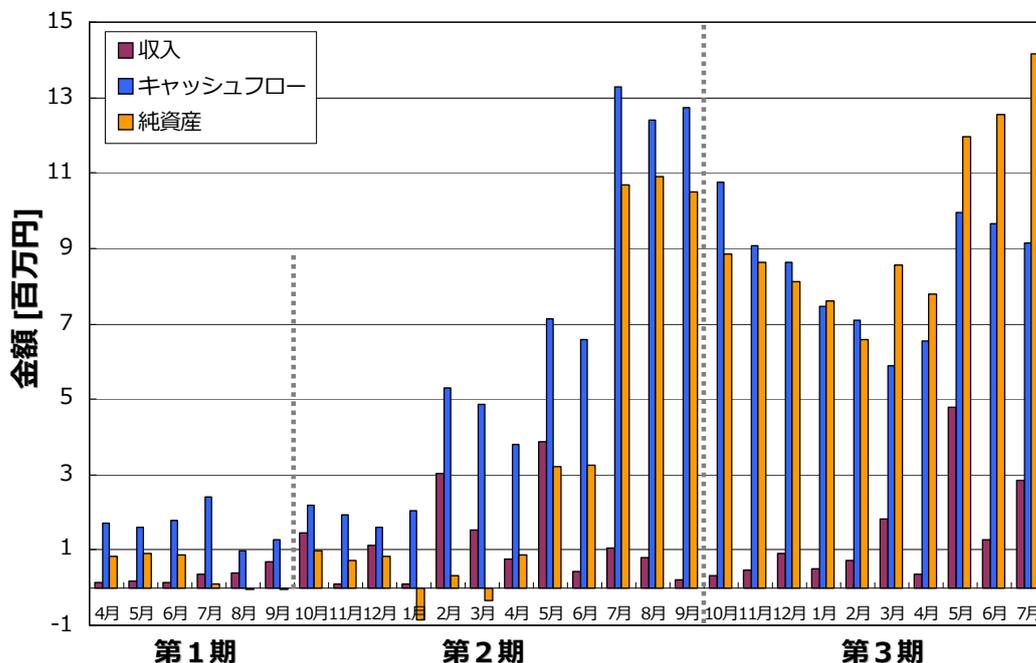


図9-4. 収入とキャッシュフローと純資産の月次推移

9-4 事業結果

パイフォトニクス株式会社の事業結果として、第1期事業報告書と決算報告書及び、第2期事業報告書と決算報告書を付録A、Bに示す。

第1期は、売上高1,886千円、営業損失998千円、経常損失1,255千円、純損失1,320千円であった。第2期は、売上高8,653千円、営業損失2,550千円、経常損失2,596千円、2,532千円の純利益であった。第2期は、助成金補助金による特別利益として5,800千円を計上している。また、第1期の研究開発費は、1,500千円、第2期の研究開発費は、1,816千円である。

事業結果として、第2期において単年度黒字を達成したが、まだ人件費を全額計上しておらず、会社が軌道に乗ったとは言いがたかった。しかし、第3期は人件費を計上した場合においても、単年度黒字を見込める状況である。毎月、売上を計上しており、事業化を達成したと判断できる。

9-5 まとめ

本章では、パイフォトニクス株式会社の事業成績について詳述した。事業成績として、販売件数による販売実績、売上高と収入とキャッシュフローと純資産の推移を示した。本起業実践における事業結果として、起業半年後の初売上以降、毎月の売上高を達成した。現在、ホロライトを中心に継続的に市場に製品を提供できる事業形態を構築することが出来ていることより、一定の事業化を達成したと判断した。

第10章 事業化要因を用いた起業実践の自己分析

本章では、事業化に必要である事業化要因として、技術的要因と経営的要因と経験的要因について述べる。経営的要因の一つである資金調達について、実際に起業実践で用いた助成金補助金の活用と融資と増資の選択と結果に関して、事業化要因を用いて自己分析する。また、パイフotonクス株式会社の事業内容である測定機器と照明機器の事業進展について、事業化要因を用いて自己分析する。そして、本起業実践において、最も重要な事業化要因について考察する。

10-1 事業化要因

本節では、事業化に向けて必要である事業化要因として、起業実践を通じて得た技術的要因と経営的要因と経験的要因を設定した。ここで、技術的要因と経営的要因は、形式的な表現ができる形式知であり、経験的要因は形式的な表現が困難な暗黙知とした。

10-1-1 技術的要因：技術者としての立場から形式知化できる要因

事業化に必要である技術に関する要因である。以下に技術的要因に関する内容を示す。

- ・ 研究開発：研究開発により新規性のある技術を有する。
- ・ 試作開発：試作開発により製品化のための試作品を有する。
- ・ 製品改良：製品改良により新製品を有する。
- ・ 知的財産：技術や製品に関する知的財産権を有する。
- ・ 外部発表：技術や製品に関する論文や記事執筆及び、学会や研究会で発表できる。

10-1-2 経営的要因：経営者としての立場から形式知化できる要因

事業化に必要である経営に関する要因である。以下に経営的要因に関する内容を示す。

- ・ 事業計画：資金の集めることの出来る事業計画を有する。
- ・ 資金調達：必要な時に資金を集めることができる。
- ・ 情報収集：市場が必要としているニーズを得ることができる。
- ・ 人脈形成：市場開拓する業界に関わる重要人物と信頼関係を得ることができる。
- ・ 広告宣伝：展示会やホームページを通じて技術や製品情報を提供できる。
- ・ 営業：技術や製品の魅力を伝えて購買意欲を与えることができる。

10-1-3 経験的要因：実践者としての立場から形式知化が困難な要因

事業化に必要である経験に関する要因である。以下に経験的要因に関する内容を示す。

- ・ 勘：選択肢が発生した際に、直ちに正しいと思える選択ができる。
- ・ 自信：自分自身の行動が正しいと信じていることができる。
- ・ 信念：自分自身の考えを有する。
- ・ 夢：将来に実現したい事を有する。
- ・ 勇気：将来に対して保証されていないことに臆せず行動できる。
- ・ 責任：社会、株主、社員など関係者に対する責任感を有する。

10-2 資金調達の選択と結果

本節では、事業化のための資金調達の選択と効果について述べる。本起業実践で用いた資金調達として、助成補助事業の活用、銀行や信用金庫からの融資の選択、株主募集による増資の選択を行った。

10-2-1 助成補助事業の活用と結果

本起業実践において活用した助成補助事業について示す。

以下に、各助成補助事業の採択日、題目、助成額、助成率、自己資金について示す。

[1] 2007年4月1日：(財)しずおか産業創造機構 創業者等研究開発助成事業 (助成金)

題目：細胞可視化、定量化、解析のための定量位相イメージング技術に関する研究開発

助成額：2,000(千円) 助成率：2/3 自己資金：1,152(千円) 計：3,152(千円)

[2] 2007年8月2日：浜松商工会議所 平成19年度F/S支援事業 (補助金)

題目：定量位相顕微鏡による屈折率変化と応力歪み測定に関する研究調査

補助額：200(千円) 助成率：1/1 自己資金：298(千円) 計：498(千円)

[3] 2007年11月12日：浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業 (補助金)

題目：大面積高均一高輝度高指向性照明装置の開発

補助額：3,600(千円) 助成率：2/3 自己資金：2,105(千円) 計：5,705(千円)

[4] 2008年6月11日：浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業 (補助金)

題目：大面積高輝度高指向性照明装置の開発

補助額：4,300(千円) 助成率：2/3 自己資金：2,559(千円) 計：6,859(千円)

[5] 2009年4月1日：(財)しずおか産業創造機構 静岡新産業集積クラスター研究開発助成事業 (助成金)

題目：大面積高輝度高指向照明装置を用いた光像生成技術に関する研究開発

助成額：5,000(千円) 助成率：2/3 自己資金：未定

以下に、助成補助事業の活用により得られた事業化要因について示す。

技術的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 研究開発：新技術のための研究開発ができた。
- ・ 試作開発：新製品のための試作品の開発ができた。
- ・ 知的財産：新技術や新製品に関する知的財産権を得た。

経営的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 事業計画：助成補助事業採択のための申請書類、プレゼン資料を作成し、事業計画が向上できた。
- ・ 資金調達：助成補助事業終了後に、助成金補助金を得た。
- ・ 人脈形成：助成補助事業に関係する支援機関との人脈が形成できた。

経験的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 自信：助成補助事業の申請内容が認められることにより自信を得た。
- ・ 勇気：助成補助事業の進行のために、研究開発費に資金を投入する勇気を得た。
- ・ 責任：助成金補助金を受けることにより、公的資金を活用する社会的な責任感を得た。

本起業実践において助成補助事業の活用は、最少人数と最小経費による最大限のリスクマネジメント得ることができた。結果として、真っ暗な未来に勇気を出して第一歩を踏み入れる機会を与えてくれた。以上の通り、多数の事業化要因を得ることができた。

10-2-2 融資の選択と結果

助成金補助金は、助成補助事業終了後に支払われるため、助成補助事業を執行のために資金調達が必要であった。本起業実践において、当初の資金調達として、増資ではなく、融資を選択した。理由は、外部との人脈形成を優先したためである。ここでは、資金調達として融資の選択を行った結果について述べる。下記に、起業実践を通じて受けた融資内容について示す。

[1] 2007年7月31日：2007年4月の助成事業採択により静岡銀行から融資を受ける。

融資額：200万円 期間：1年 金利：1.3%（浜松市創業サポート制度活用）保証料：0.9%

[2] 2008年2月25日：2007年11月の補助事業採択により浜松信用金庫から融資を受ける。

融資額：500万円 期間：2年 金利：1.3%（浜松市創業サポート制度活用）保証料：0.45%

本起業実践において、金融機関から受けた融資の長所と短所を以下に示す。

長所

- ・ 資本金を増やすことなく、現金を得ることができるために、株式比率を維持できた。
- ・ 国、県、市などの融資制度を用いることによる低金利で資金を調達できた。
- ・ 融資制度の活用により、中小企業診断士による企業診断を受けられた。
- ・ 金融機関から助成補助事業などの情報が入手できた。

短所

- ・ 利息の支払い（不必要な長期にわたる融資は、支払利息の増加となる。）
- ・ 国、県、市などの融資制度の活用には、保証協会への加入が必須である。（保証料が別途必要である）
- ・ 金融機関から決算書の送付などの催促を受けた。
- ・ 法人代表者が連帯保証人として必要であった。

以下に、融資の選択により得られた事業化要因について示す。

経営的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 資金調達：融資により、開発資金を得た。
- ・ 情報収集：金融機関から、助成補助事業などの情報を得た。
- ・ 人脈形成：金融機関との人脈が形成できた。（将来的な資金調達に役立つであろう）

融資の結果として、多くの経営的要因を得た。融資の選択は、資金調達だけではなく情報収集、人脈形成、広告宣伝にも役立ち、1人会社の弱みを補うことが可能である。今後、スムーズな資金調達や連携体の形成に役立つことが考えられる。一方で、金融機関の目的は融資による支払利息である。融資を受けるまでは接点が大きいが、融資を受けた後は接点が少なくなる。また、担当者により、経営的要因の入手度が異なると感じた。融資の調達の際には、担当者との信頼関係を持ち、継続的に関係を持つ必要性があると感じた。

10-2-3 増資の選択と結果

本起業実践における増資の選択として、発起設立と、募集株式による第三者割当てで新株を発行した事例について示し、結果について述べる。ここで、「発起設立」とは、発起人が全株式を引き受ける設立である。一方、「募集設立」とは、発起人が全株式を引き受けず、株主となる人を募集する設立のことである。一般的には、小規模の株式会社を設立する場合には、募集設立よりも発起設立が採用される場合が多い。また、「第三者割当て」とは、募集株式の発行方法の一つであり、特定の第三者に株式を割り当てる。第三者割当て以外の募集株式の発行方法として、不特定多数の者に株式を割り当てる「公募」やすべての株主に対して持株数に応じて株式の割当てを受ける権利を付与する「株主割当て」がある。以上の通り、株式を割り当てる相手により3つの種類がある。

増資は融資と異なり、会社は集めた資本金を返金する必要はないが、株式を株主に発行する。そして、将来、会社が利益を得た場合、配当金として株主に還元する。株主は、株式上場されて自由に株式が売買できる状態になった場合に、持ち株を売却して換金することができる。このように、非上場会社への出資金は、簡単に換金することはできない。

以下に、本起業実践における株式発行について示す。

[1] 2006年10月1日：発起設立 [資本金100万円、発行株式100万株、株主1名]

2006年10月にパイフォトニクス株式会社設立のために創始者の池田貴裕が資本金100円を出資した。1株1円で発行株式数は100万株である。

[2] 2008年7月18日：第三者割当て [増資額740万円、発行株式74万株、株主10名]

2008年6月浜松市オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業の採択により、補助事業の資金調達及び、会社事務所を浜松イノベーションキューブへ移転する費用、ホロライトの在庫補充、今後見込まれる事業案件などに対応するための資金を調達するために、2008年7月、浜松ホトニクスの社員を対象に、第三者割当てによる増資を行った。表10-1は、新株発行までの一連の流れを示す。

表10-1. 新株発行までの流れ

2008年5月24日	浜松ホトニクス(株)中央研究所試作研究発表会終了後、事業説明会を開催
2008年6月20日	前記、事業説明会に参加し、新株発行に興味のある者に対し、光産業創成大学院大学で株主募集説明会を開催
2008年6月21日	
2008年6月22日	
2008年6月27日	新株割当て希望申込書の〆切
2008年7月2日	光産業創成大学院大学の全体会議で晝馬理事長へ報告
2008年7月3日	浜松ホトニクス駅前事務所で晝馬社長へ報告
2008年7月4日	臨時株主総会の開催、株主決定、発行価額及び、発行数を決議
2008年7月11日	新株引受契約書送付の〆切
2008年7月18日	資本金の金銭払込〆切
2008年7月25日	増資に関する登記申請

本起業実践において、株主募集に以下の制限を設けた。

- ・ 株主は浜松ホトニクス株式会社の社員に限定
- ・ パイフォトニクス株式会社の事業説明会に参加した者
- ・ 光産業創成大学院大学での株主募集説明会に参加した者
- ・ パイフォトニクス株式会社の状況を理解した者

このように、今回の株主募集は、不特定多数の株主を集めることが目的ではなく、パイフォトニクス株社会社の現状を理解して、将来に対して協力してくれる気持ちを持っており、浜松ホトニクス株式会社の晝馬社長の持つ哲学を理解している者を対象とした。

また、新株の発行価格は1株10円とした。これは、会社の総資産と入金予定である補助金額と数字には表れていない研究開発成果及び、開発試作品などを考慮して決定した。

株主募集の結果、9名の新しい株主から240万円と、既存株主である代表者の池田貴裕から500万円、計740万円の出資金を得た。増資の結果、代表者の持株比率は86.2%になった。

以下に、増資の選択により得られた事業化要因について示す

技術的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 研究開発：株主の所属元と協力して研究開発ができた。
- ・ 試作開発：株主の所属元と協力して試作開発ができた。
- ・ 製品改良：株主の所属元と協力して製品改良ができた。

経営的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 事業計画：株主募集に際して事業計画をまとめることができた。
- ・ 資金調達：株主から資本金を調達した。
- ・ 人脈形成：株主との人脈形成ができた。

経験的要因として、下記の内容を得た。

- ・ 信念：会社の代表者として株主に対して考えを説明できた。
- ・ 夢：将来どのような会社にしたいのか、株主に対して説明できた。
- ・ 責任：株主からの出資金について責任を感じた。

本起業実践において、株主募集の結果として、増資の選択は、資金調達だけではなく、会社の運命を共にする株主に対して、会社の代表者として大きな責任感を有することになる。一方、株主との人脈形成により、協力を得ることができた。このように、多くの事業化要因が得られた。

10-3 起業実践の自己分析

本節では、第7章で述べた測定機器と第8章で述べた照明機器の事業進展について、事業化要因を用いて示し、自己分析を行った結果、本起業実践を通じて得た最も重要な事業化要因について述べる。

10-3-1 測定機器の事業進展

図10-1は測定機器の事業進展について表している。以下に、測定機器の事業進展について示す。



図10-1. 測定機器の事業進展

①定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスの開始

得られた事業化要因：経営的要因（情報収集） 経験的要因（勘）

- ・定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスの事業を開始した。
- ・市場ニーズの把握と、売上高の発生により経営者の勘を養うことができた。

②しずおか産業創造機構の助成事業の活用

得られた事業化要因：技術的要因（試作開発） 経営的要因（資金調達・人脈形成） 経験的要因（自信）

- ・助成事業の活用により定量位相イメージングユニット試作機の開発及び、資金調達ができた。
- ・公的機関（静岡県）と人脈形成ができた。
- ・助成事業の採択により、自信を得ることができた。

③外部機関（企業）との定量位相顕微鏡システムの共同開発

得られた事業化要因：技術的要因（試作開発） 経営的要因（人脈形成）

- ・リアルタイムで定量位相画像が表示できる定量位相イメージングソフトウェアが開発できた。
- ・共同開発者である浜松ホトニクス社の担当者の信頼関係が得られた。

④生物物理学会での外部発表

得られた事業化要因：技術的要因（外部発表） 経営的要因（人脈形成）

- ・学会発表を通じて、定量位相顕微鏡を用いた好中球の開口放出に関する共同研究が実現した。
- ・生物分野の関係者と接点があった。

⑤ホームページ公開及び新聞記事掲載

得られた事業化要因：経営的要因（広告宣伝・人脈形成） 経験的要因（信念）

- ・ホームページ公開による広告宣伝により、受託測定に関する引き合い数が増えた。
- ・日本経済新聞紙への紹介記事により、関係者との交流が増大した。
- ・情報公開や取材に際して、経営者としての信念が得られた。

⑥外部機関〔他大学〕との共同実験

得られた事業化要因：技術的要因（研究開発） 経営的要因（人脈形成）

- ・事業進展④で示した共同研究を通じて好中球の開口放出現象に関する研究的成果を得た。
- ・共同研究者との信頼関係ができた。

⑦定量位相顕微鏡システムの外部機関〔企業〕での評価

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良） 経営的要因（人脈形成）

- ・外部機関における評価により製品改良に向けて担当者との人脈形成ができた。

10-3-2 照明機器の事業進展

図10-2は照明機器の事業進展について表している。以下に、照明機器の事業進展について示す。

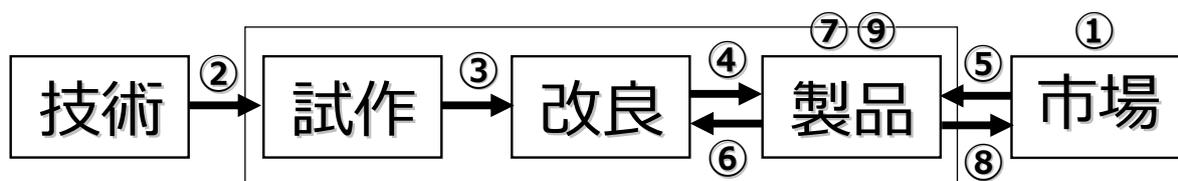


図10-2. 照明機器の事業進展

①ホログラム再生用LED照明の要望

得られた事業化要因：経営的要因（人脈形成）

- ・ホログラム再生用のLED照明装置に関するニーズ情報をもらった。

②ホロライトの試作

得られた事業化要因：技術的要因（試作開発）

- ・今まで見たことの無い照明光を発生する試作機が開発できた。

③ホロライトの改良

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良）

- ・汎用部品を用いて試作機の改良ができた。

④浜松市の補助事業採択によるホロライトの製品化

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良） 経営的要因（資金調達・人脈形成） 経験的要因（責任）

- ・浜松市の補助事業を活用してホロライトの製品化及び、資金調達ができた。
- ・公的機関（浜松市）と人脈形成ができた。 ・浜松市の補助金活用による責任を感じた。

⑤展示会出展

得られた事業化要因：経営的要因（情報収集・人脈形成・広告宣伝・営業） 経験的要因（勇気）

- ・展示会出展によりホログラム再生応用以外の市場ニーズを得ることができた。
- ・異分野の関係者との接点があった。・展示会出展を通じて、広告宣伝及び営業能力が向上した。
- ・様々な業種の方々との交流が、事業を進展させる勇気となった。

⑥浜松市の補助事業採択によるホロライトの改良

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良） 経営的要因（資金調達） 経験的要因（夢）

- ・浜松市の補助金活用により、ニーズに即した製品改良、新製品開発及び、資金調ができた。
- ・ホロライトの事業化に向けて、代表者としての新しい夢ができた。

⑦特許出願（特許・意匠・商標）

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良・知的財産権）

- ・市場ニーズに基づいた製品開発及び特許出願ができた。

⑧販売特約店

得られた事業化要因：経営的要因（情報収集・人脈形成・広告宣伝・営業）

- ・販売特約店契約により、ホロライトの広告宣伝及び営業活動の協力支援があった。
- ・販売特約店を通じて、照明装置に関する市場ニーズや市場の動向に関する情報が入手できた。

⑨共同開発

得られた事業化要因：技術的要因（製品改良） 経営的要因（人脈形成）

- ・具体的な共同製品開発を通じて、新しい市場開拓のための人脈ができた。

10-3-3 測定機器と照明機器の事業化に関する自己分析と両者の比較

測定機器事業は、定量位相顕微鏡を用いた受託測定、定量位相イメージングユニット及び、定量位相顕微鏡システムの製造販売である。受託測定はガラス材料を中心に引き合いがあった。受託測定に関する問い合わせに対して、個別に対応している段階であり、継続的に製品を市場に提供できる形態は、まだ構築できていない状態であるために、事業化されたとは言いがたい。

定量位相顕微鏡に関する技術内容は、一般の人には分かりづらく、展示会出展による販路開拓は困難であった。一方、製品化できた場合、他社は真似し辛く、市場を独占できる可能性が高い。現在、試作品を改良するための評価を行っている状態であり、製品化にまだ時間を要する。しかし、測定機器事業は照明機器事業と比較して、製品単価が高く、製品化された場合の売上高は大きくなる。

以上の通り、測定機器の事業進展は遅いが、実用化された時の事業規模は大きいと自己分析する。

照明機器事業は、ホロライトの製品化により、継続的に製品を市場に提供できる形態が構築されている。このように、毎月製品を市場に提供しているため、事業化されたとも言えるが、現状では市場規模は小さい。今後は、販売台数を増加するための形態を構築する必要がある。

ホロライトは、技術的な内容が一般の人にも分かり易く、展示会出展による反応は良好であった。精力的な展示会出展により、多種多様な業界との接点ができ、分かりやすいデモ展示により、市場から多数のニーズを得ることが出来た。一方、展示会出展やデモ機出荷を通じて技術を真似される可能性を感じ、知的財産権の重要性を感じた。

以上の通り、照明機器の事業進展は早く、本起業実践において事業化できたと判断する。さらに、短期間の間に、実験、試作、改良、製品化及び、販路開拓、営業活動を行ったことが、経験的要因に大きく貢献したと自己分析する。

測定機器事業と照明機器事業の両者を比較した場合、照明機器事業の方が事業化に関する到達度は高い。しかし、測定機器が製品化できた場合、装置の価格はホロライトの2桁程度である。このように、測定機器の事業規模の方が大きいことが考えられる。一方、照明機器事業は、今後、ホロライト単体だけではなく、その他の技術を融合することにより、付加価値の高い製品開発、もしくは、大量に販売できる用途開発が重要である。

10-4 本起業実践における重要な事業化要因

本起業実践において測定機器事業と照明機器事業の事業化要因を比較した所、共に経営的要因として人脈形成が最も多かった。このように、本起業実践において、最も重要な事業化要因は人脈形成であることが分かった。図10-3は、本起業実践における人脈形成と事業化要因に関する関係図である。人脈形成は、事業化要因である技術的要因・経営的要因・経験的要因と密接に関係している。例えば、人脈形成により関係者と協力して技術・経営・経験に関する各事業化要因を高めることができる。マサチューセッツ工科大学 [MIT]、浜松ホトニクス株式会社 [HPK]、研究機関、周辺企業、顧客、株主と連携することにより、研究開発、試作開発、製品開発などの技術的要因が高まる。浜松市、静岡県、商工会議所、浜松イノベーションキューブ [HI-Cube]、金融機関、販売特約店と連携することにより、販路開拓、人的紹介、広告宣伝、営業などの経営的要因が高まる。光産業創成大学院大学 [GPI] における環境、起業実践者との出会いを通じて、起業実践者の経験的要因が高まる。つまり、人脈形成は、事業化要因である技術的要因・経営的要因・経験的要因と密接に関係している。

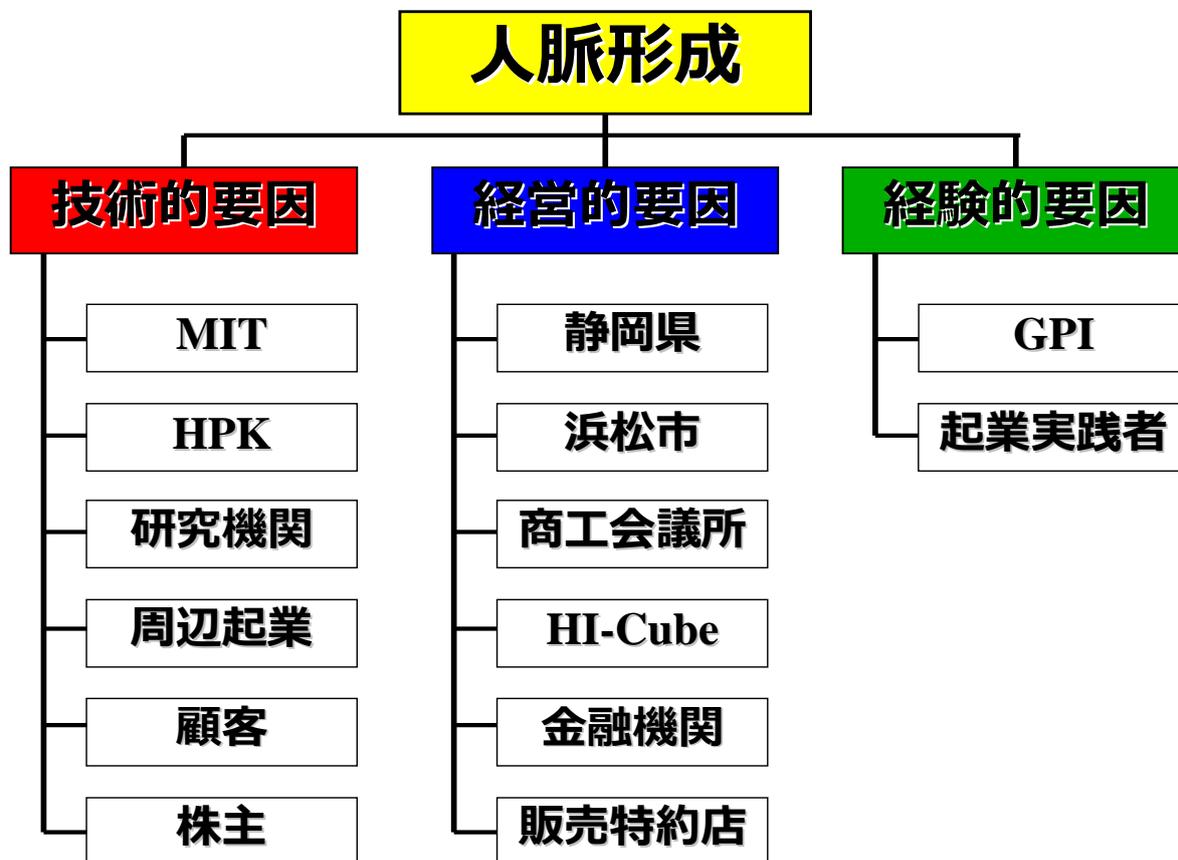


図10-3. 本起業実践における人脈形成と事業化要因の関係図

ここで、本起業実践において、ある会社の顧問と出会った際に、印象の残った事柄を下記に示す。

ある学会において、著名な先生と出会い、その後、先生と関係する会社の顧問の方を紹介された。その顧問と電話で話した所、まず浜松に出張すると言う事であった。後日、浜松で会った時に「ビジネスは必ず直接担当者と会ってから始める」と発言された。当時の私は驚きと感銘を受けた。そして、これが人脈形成の基本であると感じた。直接、担当者と会って話すことにより、担当者の性格や人柄を理解

すれば、担当者が当方に対して、プラス要因であるのかマイナス要因であるのか見極めることは簡単である。そして、次回以降は電話連絡でスムーズにやり取りができるものである。その後、出張は将来に対する投資であると考えようになった。それまでは、出張は費用がかかるために、直接的に利益が上がる時以外は、出張はしないと考えていたが、その後、出張することに対する恐怖が無くなった。同様に、その他の事柄に対しても、将来への投資と割り切ることが出来るようになった。また、顧問は既に自分自身で会社を起こしている。このような起業実践者が経験を通じて得た信念は、起業実践者に暗黙知を提供してくれる。

さて、人脈形成の方法は、相手のプラス要因の存在になることであると思う。ここで、プラス要因とは、お互いに人・物・金を与えることの出来る存在である。例えば、金銭的なメリットがある人、技術や物を提供できる人、そして、一緒に楽しく仕事ができる人である。このように人脈形成は、光産業創成大学院大学の基本精神である「ニーズとシーズの融合」を推進する原動力になっており、人・物・金の相互的移動より「儲け」を発生させ、光産業創成サイクルの循環に寄与している。つまり、人脈形成により、光産業創成の基本精神である「ニーズとシーズの融合」を通じて「相手を儲けさせる」ことが「新産業を自らが実践しうる人材」として必要な要素である。

10-5 まとめ

本章では、起業実践において得られた数々の経験を、事業化するための重要な要素としてとらえ、それらの形式知化を試みた。実際に自らが起業実践し、そこから得られた結果から、技術者の立場から見る事が出来る技術的要因と、経営者の立場から見る事が出来る技術的要因と経営的要因の2つの要因に形式知化することができた。一方、起業実践の中で得られた知見の中には上記の2つ要因に当てはめることが出来ないものがあり、それらは形式知化できないことから暗黙知として捉え経験的要因とした。また、経営的要因の一つである資金調達について、本起業実践で用いた助成補助事業の活用及び、融資と増資の選択と結果に関して、事業化要因である技術的要因、経営的要因、経験的要因を用いて形式化を行った。また、パイフォトニクス株式会社の事業内容の内、測定機器と照明機器の事業進展について事業化要因である技術的要因、経営的要因、経験的要因を用いて自己分析し、測定機器と照明機器の両者について比較した。その中から、起業実践のどのステージでも「人脈形成」が存在し、起業実践の場において人脈を形成しながら会社を成長させていくことが最も重要であることが明らかとなった。

人脈形成は、事業化要因である技術的要因・経営的要因・経験的要因と密接に関係しており、光産業創成大学院大学の基本方針である「ニーズとシーズの融合」を推進する原動力である。人脈形成により、光産業創成の基本精神である「ニーズとシーズの融合」を通じて「相手を儲けさせる」ことが「新産業を自らが実践しうる人材」として必要な要素であることが分かった。

謝辞

人脈形成に関する関係図について助言して下さった天野准教授及び、本起業実践において経験的要因を授けて下さった皆様に感謝致します。

第IV部

結論編：光産業創成に向けて

第11章 光産業創成に向けて

本章では、本起業実践で得た教訓と光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について述べ、光産業創成学における形式知と新産業を自らが実践しうる人材について考察する。

11-1 起業実践で得た教訓

以下の5つの項目は、研究者の立場から法人の代表者になり、約1年半を経過した時点で、起業実践で得た教訓として記したものである¹。これらは起業実践を通じて得た事業化要因の経験的要因である。

(1) 法人設立は子供を産んだこと

2006年5月の新会社法施行により、資本金1円で株式会社の設立が可能になったが、法人の設立は、親が子供を産んだことと同様である。(法人は法の下における人である。) そのため、設立した法人は親(創始者)責任を持って育てる必要がある。そして、子供と同様に法人の成長は育て方によって異なり、親にも似て来るのであろう。

(2) サラリーマン根性を無くすこと

法人の経営者になることは、雇用されているサラリーマンと異なり、給料は保証されず、24時間働き続けることも厭わない。給料が安い文句は自分自身に言うしか無い。そして、常に危機感と責任感を持ち続ける。それに負けない精神力を身につける必要がある。それには、自信が必要となるであろう。

(3) 自分を信じること

自分を信じていない人は、人からも信じてもらえない。自分を信じる自信を持つことにより、人からも信用してもらえる。そして、正しい自信を持つには、自分自身の夢や野望が必要である。自信が無い場合、自信を養う方法は、実践して成功するしかない。そのためには恥を捨てる必要があるのであろう。

(4) 時には恥を捨て馬鹿になること

自信の無い時は、失敗を恐れてもう一歩前に進む勇気が出てこない。しかし、第一歩が歩めないとも始まらない。進むべき方向が分からない時は、恥を捨てて正直に誰かに聞くことである。誇りを捨てて、自分の恥ずかしい部分を曝け出し、正直に自分のやりたいことを伝えられれば、自然に周りが協力してくれるであろう。

(5) 夢、哲学、守るべきモノを持つこと

法人の代表者となり、自分自身を信じることができ、自分の行動結果が正しい方向に到達した時、その実践を通じて、夢、哲学、守るべきモノができていくであろう。

起業実践で得た教訓は暗黙知として起業実践者の経験を高める。このような起業実践を通じて得られる教訓は、経営者の持論となり、最終的に経営者が持つ哲学となる。これらが、光産業創成学における形式知の一つになると考える。

11-2 起業実践哲学

起業実践の内容は個々により異なるが、起業実践を通じて得た教訓は、同じ起業実践者に対して共感と知恵を与える。例えば、晝馬輝夫²や松下幸之助³は、自らの経験から得た知識をまとめているが、実際に起業実践を通じて内容を深く理解できるようになった。このように、起業実践で得られた教訓には、起業実践者だけが得ることのできる共通の概念が存在しているのではないだろうか。それが、光産業創成学における形式知であると考えた。ここで、松下幸之助が執筆した書籍から一編を抜粋する³。

「不可能はない」

天地自然の理にかなったものならば、すべて可能である。事業というものは天地自然の理に従って行えば必ず成功するものだと思う。いいものをつくって、適切な値段で売り、売った代金をきちっと回収する、簡単にいえばそれが天地自然の理にかなった事業経営の姿である。その通りにすれば100%成功するのである。成功しないとすれば、それは品物が悪いか、値段が高いか、集金をおろそかにしているか、必ずどこかに天地自然の理に反した姿があるからである。

これを読んだ時に驚愕した。なぜなら、光産業創成大学院大学における起業実践を通じた研究において、光産業創成学という学問が存在するとした場合、なんらかの再現性を要するが、必ず事業が成功するようなことは存在しないと考えていた。しかし、松下幸之助は「事業は必ず成功する」「100%成功する」と言い切っている。これは、事業化に成功した松下幸之助であるからこそ、非常に大きな説得力を持っているのであろう。これが起業実践により得られた経営者の哲学であり、起業実践哲学と呼ぶ。

起業実践哲学ができるまでの過程を図11-1に示す。起業実践者が起業実践により得た教訓は、対外的に第三者へ伝えることができる説得力を持つことにより、経営者の持論となる。さらに、事業化に成功することにより、絶対的な自信と信念に裏付けされた経営者の哲学となる。このように起業実践を通じて得た哲学は、会社の経営理念として、会社が存続する限り恒久的に引き継がれていくことになる。

このような事業化に成功した経営者が持つ起業実践哲学が、光産業創成学における形式知であると考えられる。そして、将来の光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」として必要であると結論付ける。

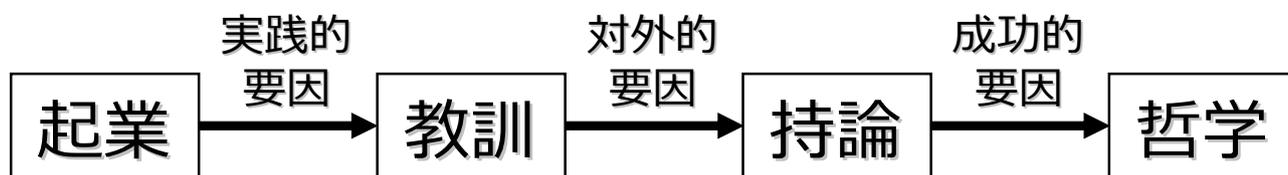


図11-1. 起業実践哲学までの過程

参考文献

- [1] 池田貴裕, “起業実践による光産業創成”, 経営情報学会 2008 年春季全国研究発表大会 (2008).
- [2] 晝馬輝夫, ”「できない」と言わずにやってみろ!”, イースト・プレス (2003).
- [3] 松下幸之助, ”指導者の条件”, PHP 研究所 (2006).

第12章 結論

本章では、本論文の総括し、結論について述べ、本論文を終える。

12-1 総括

本論文では、第I部において本研究の位置付けについて詳述した。第II部において研究者の立場として光技術シーズについて詳述した。第III部において経営者の立場として起業実践の内容と結果及び、その自己分析について詳述した。第IV部第11章では、将来の光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について述べた。以降に、各部各章について総括する。

12-1-1 第I部「光産業創成とは？」の総括

第I部は、光産業創成を追求するために、光産業創成大学院大学の学生として、光産業創成大学院大学の学則を通じて本研究の目的を設定した背景について示した。そして、ヒルマ・リングを起源とした光産業創成の仕組みとして光産業創成の仕組みについて提案し、起業実践の意義について形式知と暗黙知を用いて詳述した。本起業実践では、光産業創成サイクルにおける技術と応用と市場の立場において、起業実践を通じた事業化開発を行った。その起業実践を通じて、将来に光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」として必要な要因について考察することを、本研究の目的とした。

12-1-2 第II部「研究者の立場」の総括

第II部は、研究者の立場として、光技術シーズであるホログラフィーと、その表示と測定応用について詳述した。パイフォトンクス株式会社はホログラフィー表示と測定に関する光技術を活用している。このように、起業実践のコアとなる光技術であるホログラフィーに関する研究内容について述べた。

第3章では、光技術シーズであるホログラフィーについて述べた。ホログラフィーの基礎として、ホログラムの作成と再生について述べた。実際に、アナログホログラムとデジタルホログラムの作成と再生について示し、両者について比較することにより、膨大なホログラムの情報量と両者の違いに関する知見を得た。

第4章では、浜松ホトニクス株式会社中央研究所の研究員時代に研究したホログラフィーの表示応用について述べた。三次元表示方式の流れについて示し、最も情報量が多いホログラフィー方式に関する具体的な表示応用として、静止画ホログラフィーであるホログラフィックプリンター、動画ホログラフィーであるホログラムゴーグルについて詳述した。ホログラフィックプリンターは、多数の光線を再生することにより超多眼状態を満足するホログラム画像を出力することができる。ホログラムゴーグルは、特殊な計算機ホログラムを用いて、超多眼状態を満足する動画ホログラム再生像を表現することができる。超多眼状態を満足するホログラフィー方式は、ホログラフィーの膨大な情報量を低減できる新しい手法であり、将来、ホログラフィー3Dディスプレイを実用化する際に有益な技術である。

第5章では、マサチューセッツ工科大学スペクトロスコピー研究所の客員研究員時代に研究したホログラフィーの測定応用について述べた。光干渉技術であるホログラフィーを用いて、生物細胞を非侵襲且つ非接触で高速高精度に定量情報を測定できる定量位相イメージング技術を倒立顕微鏡に導入した

定量位相顕微鏡について詳述した。定量位相顕微鏡を用いて血球細胞の3次元構造及び、赤血球溶血時に細胞内部からヘモグロビンが外部へ流出する様子をミリ秒且つナノメートル精度で測定した結果について詳述した。回折格子とピエゾ素子を用いた電氣的フィードバック系の導入による定量位相顕微鏡の安定化、コモンパス干渉光学系の導入による定量位相顕微鏡の安定化を行い、両者について比較することにより、定量位相顕微鏡の実用化に関する知見を得た。

12-1-3 第Ⅲ部「経営者の立場」の総括

第Ⅲ部は、経営者の立場として、パイフォトニクス株式会社の起業実践の内容と結果及び、事業化要因を用いた自己分析について詳述した。光技術であるホログラフィーに関する研究者の立場から、起業により経営者の立場になり、起業実践を通じて事業化を目指した。そして、起業実践を通じて得た事業化に必要な要因として技術的要因、経営的要因、経験的要因を用いて、自らの起業実践結果について自己分析することにより、本起業実践において最も重要であった事業化要因について詳述した。

第6章では、2006年10月に光産業創成大学院大学内で設立したパイフォトニクス株式会社の設立経緯、2009年7月末時点における会社概要について示した。パイフォトニクス株式会社の会社概要として、企業理念、代表者経歴、会社沿革、会社所在地、組織体制と事業内容について示した。起業実践について7件の外部発表と、起業前に掲載された新聞記事と、2年後に掲載された起業後の新聞記事について示した。

第7章では、定量位相顕微鏡に関する測定機器の事業化開発について詳述した。初めに、市場ニーズの収集及びユーザー獲得を目的として、定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスを示した。定量位相顕微鏡を製品として継続して提供するために、自らが開発した定量位相イメージング技術を基に、定量位相イメージングユニットと定量位相顕微鏡システムの開発を行った。開発した定量位相顕微鏡システムは、数nm程度の誤差で、細胞運動の高速測定が可能であることを確認した。また、明視野像観察機能を付与した定量位相－明視野デュアルイメージング顕微鏡の開発を行い、白血球細胞の1つである好中球の開放放出現象の可視化に成功した。広告宣伝活動として、11件の学会発表、6件の展示会出展、1件の新聞記事掲載について示した。知的財産権として、2件の特許出願について示した。

第8章では、ホロライトに関する照明機器の事業化開発について詳述した。開発したホロライトは、大面積、高輝度、高指向性、低発熱性、低刺激性の特徴を有し、従来のホログラム照明で用いられるハロゲンランプで問題となる低指向性、発熱、高消費電力の問題を解決することができた。ホロライトを並列接続することで大型ホログラムの再生に対応可能とした。また、展示会等の広報宣伝活動でのニーズ調査を行い、ホログラム再生用途以外である検査応用と演出応用の用途開発を行った。検査応用のために、ライン照明型、集光照明型、光量可変機能、光量均一機能、線形偏光機能を持つホロライトの開発を行った。演出応用のために、直列接続型、並列接続型のホロライトの開発及び、光像生成に関する屋外照明実験を行った。広告宣伝活動として、2件の記事執筆、20件の展示会出展、1件の新聞記事掲載について示した。知的財産権として、4件の特許出願、1件の意匠登録、1件の商標登録について示した。

第9章では、本章では、パイフォトニクス株式会社の事業成績について詳述した。事業成績として、

販売件数による販売実績、売上高と収入とキャッシュフローと純資産の推移を示した。本起業実践における事業結果として、起業半年後の初売上以降、毎月の売上高を達成した。第2期において単年度黒字を達成したが、まだ人件費を全額計上しておらず、会社が軌道に乗ったとは言いがたい。しかし、第3期は人件費を計上した場合における単年度黒字を見込んでいる。現在、ホロライトを中心に継続的に市場に製品を提供できる事業形態を構築することが出来ていることより、一定の事業化を達成したと判断した。

第10章では、起業実践において得られた数々の経験を、事業化するための重要な要素としてとらえ、それらの形式知化を試みた。実際に自らが起業実践し、そこから得られた結果から、技術者の立場から見ることが出来る技術的要因と、経営者の立場から見ることが出来る技術的要因と経営的要因の2つの要因に形式知化することができた。一方、起業実践の中で得られた知見の中には上記の2つ要因に当てはめることが出来ないものがあり、それらは形式知化できないことから暗黙知として捉え経験的要因とした。また、経営的要因の一つである資金調達について、本起業実践で用いた助成補助事業の活用及び、融資と増資の選択と結果に関して、事業化要因である技術的要因、経営的要因、経験的要因を用いて形式化を行った。また、パイフォトニクス株式会社の事業内容の内、測定機器と照明機器の事業進展について事業化要因である技術的要因、経営的要因、経験的要因を用いて自己分析し、測定機器と照明機器の両者について比較した。その中から、起業実践のどのステージでも「人脈形成」が存在し、起業実践の場において人脈を形成しながら会社を成長させていくことが最も重要であることが明らかとなった。

人脈形成は、事業化要因である技術的要因・経営的要因・経験的要因と密接に関係しており、光産業創成大学院大学の基本方針である「ニーズとシーズの融合」を推進する原動力である。人脈形成により、光産業創成の基本精神である「ニーズとシーズの融合」を通じて「相手を儲けさせる」ことが「新産業を自らが実践しうる人材」として必要な要素であることが分かった。

12-1-4 第IV部「光産業創成に向けて」の総括

第IV部は、本起業実践で得た教訓と光産業創成に向けて必要な起業実践哲学について述べ、光産業創成学における形式知と新産業を自らが実践しうる人材について考察した。起業実践者が起業実践により得た教訓は、対外的に第三者へ伝えることができる説得力を持つことにより、経営者の持論となり、事業化に成功することにより、絶対的な自信と信念に裏付けされた経営者の哲学となる。このような事業化に成功した経営者が持つ起業実践哲学が、光産業創成学における形式知であると考え、将来の光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」として必要であると結論付けた。

12-2 結論

本論文では、光産業創成の仕組みを提案し、起業実践を通じて光産業創成の追求を行った。事業化に必要な要因は、技術的要因と経営的要因である形式知と、経験的要因である暗黙知であることが分かった。本起業実践では、事業化に必要な要因は人脈形成であることが分かった。起業実践者が得た教訓は、経営者の持論となり、事業化に成功した経営者が持つ起業実践哲学は、新産業創成を通じて、人類に新しい文化をもたらす光産業創成に向けて「新産業を自らが実践しうる人材」に必要であると結論付けた。

以上の通り、光産業創成を目指して、筆者自身が研究者の立場から法人の経営者になり、「できない」と言わずにやってみた結果、光産業創成に向けて必要な形式知と暗黙知が得られた。

参考文献

第2章 光産業創成

- [1] 晝馬輝夫, “「できない」と言わずにやってみろ!”, イースト・プレス (2003).
- [2] 池田貴裕, “起業実践による光産業創成”, 経営情報学会 2008 年春季全国研究発表大会 (2008).
- [3] 江田英雄, 江浦茂, 丸山信人, “知的創造サイクルを推進する産業創成”, 日本知財学会第 5 回年次学術研究発表会要旨集, pp492-495 (2007).
- [4] 池田貴裕, “パイフォトニクス株式会社-起業実践による光産業創成に向けて-”, 浜松メッセ 2008 イノベーションビジネスマッチング配布資料(2008).
- [5] 野中郁次郎, 竹内弘高, “知識創造企業”, 東洋経済新報社 (1996).
- [6] 竹下照夫, “Wavenics 計測による光産業創成, 光産業創成大学院大学 博士論文 第 11 章 (2008).

第3章 ホログラフィー

- [1] 大越敬孝, “ホログラフィ”, 電子通信学会 (1977).
- [2] 辻内順平, “ホログラフィー”, 裳華房 (1997).
- [3] Eric A. Ash, “Dennis Gabor, 1900-1979”, *Nature*, 280, 5721, pp.431-433 (1979).
- [4] P. Hariharan, “Basics of Holography”, Cambridge University Press (2002).
- [5] P. Hariharan, 吉川 浩, 羽倉弘之, “ホログラフィの原理”, オプトロニクス社 (2004).
- [6] I. Yamaguchi, T. Zhang, “Phase-shifting digital holography”, *Opt. Lett.*, 22, 1268-1270 (1997).
- [7] 小山次郎, 西原浩, “光波電子工学”, コロナ社 (1978).
- [8] 青木由直, “波動信号処理”, 森北出版 (1986).
- [9] H. Yoshikawa, S. Iwase, and T. Oneda, “Fast Computation of Fresnel Holograms Employing Difference”, *Practical Holography XIV, SPIE Proc.*, 3956, 48 (2000).

第4章 ホログラフィーの表示応用

- [1] 結城昭正, “スキャンバックライト方式 3D 液晶ディスプレイ”, 月刊ディスプレイ, 11, 4, pp. 94-98 (2005).
- [2] 須藤 敏行, 尾坂 勉, 谷口 尚郷, “光線再現方式 3D ディスプレイ”, 映像情報メディア学会技術報告, 26, 73, pp. 5-8 (2002).
- [3] M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda, “Holographic three-dimensional printer: new method,” *Appl. Opt.* 31, pp.217-222 (1992).
- [4] 竹森民樹, 池田貴裕, “静止画ホログラフィ”, フォトンフェア 2004 配布資料, (2004).
- [5] 池田貴裕, 竹森民樹, “動画ホログラフィ”, フォトンフェア 2004 配布資料, (2004).
- [6] 辻内順平, 村田和美, “光学情報処理”, 朝倉書店 (1974).
- [7] 竹森民樹, “液晶パネルを用いた 3次元表示—高速計算法—”, 映像情報メディア学会技術報告, 21, 46, pp. 13-19 (1997).

第5章 ホログラフィーの測定応用

- [1] F. Zernike, *Science* 121, 345 (1955).

参考文献

- [2] R. Nowakowski, P. Luckham, and P. Winlove, *Biochim. Biophys. Acta* 1514, 170 (2001).
- [3] T. Ikeda, G. Popescu, R. Dasari, M. S. Feld, "Hilbert phase microscopy for investigating fast dynamics in transparent systems", *Opt. Lett.*, 30, pp.1165-1167 (2005).
- [4] T. Yamauchi, H. Iwai, M. Miwa, Y. Yamashita, "Measurement of topographic phase image of living cells by white-light phase-shifting microscope with active stabilization of optical path difference", *Proc. of SPIE* 6429-61 (2007).
- [5] G. Popescu, T. Ikeda, R. Dasari, M. S. Feld, "Erythrocyte structure and dynamics quantified by Hilbert phase microscopy", *J. Biomed. Opt. Lett.*, Vol. 10, 060503 (2005).
- [6] G. Popescu, T. Ikeda, K. Goda, C. A. Best-Popescu, M. L. Laposata, S. Manley, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Optical measurement of cell membrane tension", *Phys. Rev. Lett.*, 97, 218101 (2006).
- [7] G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari and M. S. Feld, "Diffraction phase microscopy for quantifying cell structure and dynamics", *Opt Lett*, 31, pp.775-777 (2006).
- [8] D. Gabor, *J. Inst. Electr. Eng.* 93, 329 (1946).
- [9] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 7th ed. (Cambridge U. Press, Cambridge, 1999), p. 557.
- [10] M. Takeda, H. Ina, and S. Kobayashi, *J. Opt. Soc. Am.* 72, 156 (1982).
- [11] N. Lue, G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari, K. Badizadegan and M. S. Feld, "Live cell refractometry using microfluidic devices", *Opt Lett*, 31, pp.2759-2761 (2006).
- [12] N. Lue, W. Choi, G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Quantitative phase imaging of live cells using fast Fourier phase microscopy", *Appl. Opt.* 32, 811 (2007).
- [13] R. W. P. Drever, J. L. Hall, and F. V. Kowalski et al., *Appl. Phys. B* 31, 97 (1983).
- [14] 池田貴裕, "フィードバック系及びコモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡", *Proc. of 39th Meeting on Lightwave Sensing Technology*, 22, (2007).

第7章 測定機器の開発と事業化

- [1] 池田貴裕, G. Popescu, M. S. Feld, "生物細胞の動的構造調査のための定量位相顕微鏡", *OPJ2006*, 8aE2 (2006).
- [2] T. Ikeda, "Quantitative Phase microscopy for visualization, quantification and analysis of live cells", 第45回日本生物物理学会年会 (2007).
- [3] 鈴木賢哉, 那須悠介, V. Sharma, 池田貴裕, J. G. Fujimoto, E. P. Ippen, M. S. Feld, "フェムト秒レーザーによる導波路描画技術を用いた[3x3]光方向性結合器の作製と評価", *The 16th Meeting on Glasses for Photonics* (2006).
- [4] 池田貴裕, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムによる透明体の高速測定", 第14回画像センシングシンポジウム講演論文集, IN3-13 (2008).
- [5] NEDO, "三次元光デバイス高効率製造技術", 事業原簿(公開版), 配布資料 5-1-1 (2008).
- [6] 池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いた好中球開口放出現象の高速長時間測定", 第15回画像センシングシンポジウ

参考文献

ム講演論文集, IS1-01 (2009).

- [7] 池田貴裕, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, “定量位相顕微鏡システムを用いた開口放出時における生細胞の高速イメージング”, BMB2008, 4P-0556(4T11-12), pp. 756 (2008).
- [8] E Suzaki, H Kobayashi, Y Kodama, T Masujima, S Terakawa, “Video-rate dynamics of exocytotic events associated with phagocytosis in neutrophils”, Cell Motility and the cytoskeleton, 38, 3, pp. 215-228 (1997).

第8章 照明機器の開発と事業化

- [1] 池田貴裕, “大面積高輝度高指向性照明装置ホログラム用照明装置「ホロライト」と、その応用事例”, 映像情報インダストリアル, 40/12, pp. 14-17 (2008).

第11章 結論

- [1] 池田貴裕, “起業実践による光産業創成”, 経営情報学会 2008 年春季全国研究発表大会 (2008).
- [2] 晝馬輝夫, “「できない」と言わずにやってみろ!”, イースト・プレス (2003).
- [3] 松下幸之助, “指導者の条件”, PHP 研究所 (2006).

図表記事一覧

第2章 光産業創成

- 図2-1. ヒルマ・リング
- 図2-2. 光産業創成の仕組み
- 図2-3. 起業実践の意義と光産業創成学の概念図
- 図2-4. 起業実践を通じた事業化開発

第3章 ホログラフィー

- 図3-1. ホログラムの作成方法と再生例
- 図3-2. アナログホログラム作成光学系
- 図3-3. 記録物体（硬貨と造花）
- 図3-4. アナログホログラム再生像
- 図3-5. デジタルホログラム作成光学系
- 図3-7. フレネルゾーンプレート
- 図3-6. デジタルホログラムの作成と演算
- 図3-8. デジタルホログラムの再生

第4章 ホログラフィーの表示応用

- 図4-1. 立体感を誘引する因子
- 図4-2. 3次元表示方式の分類図
- 図4-3. 両眼視差による立体認識
- 図4-4. 立体視画像（平行法）
- 図4-5. 実空間における立体認識
- 図4-6. 地点1に焦点調節（実空間）
- 図4-7. 地点3に焦点調節（実空間）
- 図4-8. 超多眼状態における立体認識
- 図4-9. 地点1に焦点調節（超多眼状態）
- 図4-10. 地点3に焦点調節（超多眼状態）
- 図4-11. 三次元物体からの光線発生
- 図4-12. 光線再生方式による三次元物体の再生
- 図4-13. ホログラフィックプリンターによるホログラムの再生像（薔薇）
- 図4-14. フルカラーホログラムの再生像と拡大図
- 図4-15. 輝度画像
- 図4-16. 距離画像
- 図4-17. ハーフゾーンプレー
- 図4-18. ホログラムパターン
- 図4-19. 再生像と共役像の再生
- 図4-20. 再生像と共役像の分離と除去
- 図4-21. ホログラム再生像の虚像拡大観察

図表記事一覧

- 図4-22. 手前に焦点調節時
- 図4-23. 奥に焦点調節時
- 図4-24. ホログラムゴーグルの光学系展開図
- 図4-25. ホログラムゴーグル使用時の様子
- 図4-26. ホログラムゴーグルの構造
- 図4-27. ホログラムゴーグルの概観写真 [H-HMD : Holographic-Head Mounted Display]
- 表4-1. ホログラムゴーグルの主な仕様

第5章 ホログラフィーの測定応用

- 図5-1. 研究開発の動機
- 図5-2. 波面伝播の様子
- 図5-3. マッハツェンダー型干渉計
- 図5-4. 定量位相画像の生成過程
- 図5-5. 微小水滴の蒸発
- 図5-6. 定量位相顕微鏡 [QPM]
- 図5-7. 赤血球の定量位相画像と厚み形状
- 図5-8. 血球細胞の形態変化 (左:測定開始時、右:10秒後)
- 図5-9. 赤血球の厚み形状 (左:測定開始時、右:10秒後)
- 図5-10. 白血球の遊走運動 (左:測定開始時、中:5秒後、右:10秒後)
- 図5-11. 赤血球の溶血現象
- 図5-12. ヘモグロビン流出の可視化
- 図5-13. 光学的体積値と光学距離値の時間変化
- 図5-14. 電氣的フィードバック回路により安定化された定量位相顕微鏡
- 図5-15. 定量位相顕微鏡の安定化
- 図5-16. コモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡
- 図5-17. フィードバック系とコモンパス光学系のノイズ比較
- 表5-1. 定量位相顕微鏡の性能比較

第6章 パイフォトニクス株式会社の概要

- 図6-1. 入学当初の事業計画 [定量位相顕微鏡と周辺機器開発]
- 図6-2. パイフォトニクス株式会社のロゴマーク
- 図6-3. パイフォトニクス株式会社の経営理念
- 図6-4. パイフォトニクス株式会社の企業理念
- 図6-5. 代表取締役 池田貴裕
- 図6-6. パイフォトニクス株式会社の所在地
- 図6-7. パイフォトニクス株式会社の組織体制図
- 表6-1. パイフォトニクス株式会社の会社概要
- 表6-2. 代表者の経歴
- 表6-3. パイフォトニクス株式会社の沿革
- 記事6-1. 日本経済新聞 [2006年6月16日付37面]

記事6-2. 日本経済新聞 [2008年6月11日付35面]

第7章 測定機器の開発と事業化

- 図7-1. 測定機器事業の構想図
 - 図7-2. 測定機器の事業計画
 - 図7-3. フェムト秒レーザー加工によりガラス内部に形成された光導波路の屈折率分布
 - 図7-4. フェムト秒レーザーによるガラス表面加工と表面形状測定
 - 図7-5. 偏波保持ファイバーの複屈折測定と応力分布
 - 図7-6. 定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービスによる測定事例
 - 図7-7. 定量位相顕微鏡システム
 - 図7-8. 定量位相イメージングユニット [型式: QP I-U1]
 - 図7-9. 定量位相イメージングユニットの光学系
 - 図7-10. 定量位相イメージングソフトウェア ” QPImager”
 - 図7-11. ノイズ評価 [250fps]
 - 図7-12. ノイズ評価 [1000fps]
 - 図7-13. 赤血球の定量位相画像
 - 図7-14. 赤血球の厚みと体積値の動的変化
 - 図7-15. 集光型ホロライトを用いた明視野像観察光学系を導入した定量位相顕微鏡システム
 - 図7-16. ホロライトの全体図 (①正面 ②背面 ③側面) と主な仕様
 - 図7-17. 集光型ホロライト
 - 図7-18. 好中球貪食時における同時観察
 - 図7-19. 好中球貪食時における同時観察 (10秒後)
 - 図7-20. 好中球貪食時における同時観察 (20秒後)
 - 図7-21. 開口放出現象を示す模式図
 - 図7-22. 開口放出現象の定量位相画像の時間変化
 - 図7-23. 顆粒部の平均光学距離値の変化
 - 図7-24. 定量位相顕微鏡の構成図
 - 表7-1. インテリジェントビジョンシステムの仕様
- 記事7-1. 日本経済新聞 [2008年5月14日付22面]

第8章 照明機器の開発と事業化

- 図8-1. パイフォトンクス株式会社のホームページ [<http://www.piphotonics.co.jp>]
- 図8-2. 照明機器の事業計画
- 図8-3. 太陽光に近い指向特性
- 図8-4. 高輝度LEDを用いた実験
- 図8-5. 薔薇のホログラム再生像
- 図8-6. 照明装置の試作機
- 図8-7. 遠方照明
- 図8-8. ホロライトの試作機
- 図8-9. ロゴホログラム再生の様子

図表記事一覧

- 図 8-10. ホロライトの改良機
- 図 8-11. ホロライトの照明光
- 図 8-12. 製品化されたホロライトの概観写真
- 図 8-13. ホロライトの全体図 (①正面②背面③側転④回転可能⑤台座部⑥底面 [電池対応型])
- 図 8-14. 照明色(白・電球・赤・緑・青)
- 図 8-15. 遠隔スポット照明
- 図 8-16. 標準型ホロライト
- 図 8-17. ホロライトの波長スペクトル
- 図 8-18. ライン照明型ホロライト
- 図 8-19. ライン照明型ホロライトの光量分布 (照明距離 15 cm)
- 図 8-20. 集光照明型ホロライトの顕微鏡応用
- 図 8-21. 直列接続型ホロライト (赤色照明ユニット 5 個)
- 図 8-22. 直列接続型ホロライトの照明光
- 図 8-23. 直列接続型ホロライトの背面
- 図 8-24. 5色直列接続型ホロライト (白色・電球色・赤色・緑色・青色照明ユニット各 1 個)
- 図 8-25. 地面に沿って照明
- 図 8-26. 夜空に向かって照明
- 図 8-27. 並列接続型ホロライト
- 図 8-28. 並列接続型ホロライトの一例
- 図 8-29. 64 個並列接続型ホロライト
- 図 8-30. 64 個並列接続型ホロライトの全点灯と文字表示
- 図 8-31. 電池対応型ホロライトの底面図 (左: 電池カバー有 右: 電池カバー無)
- 図 8-32. 調光電源 (P S-D 1)
- 図 8-33. 光量可変型ホロライト (①光量最大 ②光量中間 ③光量最小)
- 図 8-34. 標準型ホロライトの光量分布 (左: 強度画像 右: 横軸強度プロファイル)
- 図 8-35. 光量均一型ホロライトの光量分布 (左: 強度画像 右: x 軸プロファイル)
- 図 8-36. ホロライトを用いた「ホロボックス」によるホログラムの再生と再生像
- 図 8-37. ヴァイオリンのアナログホログラム再生 (①左視点 ②正面視点 ③右視点)
- 図 8-38. デジタルホログラム用 3D データ
- 図 8-39. デジタルホログラムの再生
- 図 8-40. ホロライトスタンド
- 図 8-41. 照明時の様子
- 図 8-42. ガラス表面の傷検査
- 図 8-43. 自動検査によるカメラ画像と画像処理
- 図 8-44. 展示会「Security Solution 2008」でのホロライト設置の様子
- 図 8-45. 展示会「CEATEC JAPAN 2008」でのホロライト設置の様子
- 図 8-46. 光像生成システムの構想図
- 図 8-47. 屋外照明実験の形態
- 図 8-48. 64 個並列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験
- 図 8-49. 19 個直列接続型ホロライトを用いた屋外照明実験

図表記事一覧

- 図 8-50. 64個並列接続型ホロライト（左：概観写真 右：照明時）
- 図 8-51. 64個並列接続型ホロライトの屋内照明実験（左：通常撮影 右：高速撮影）
- 図 8-52. 商標登録証
- 図 8-53. 意匠登録証
- 記事 8-1. 日本経済新聞 [2008年5月10日付]

第9章 パイフォトニクス株式会社の事業結果

- 図 9-1. 販売件数の推移
- 図 9-2. 売上高の推移（月次・累積）
- 図 9-3. 収入の推移（月次・累積）
- 図 9-4. 収入とキャッシュフローと純資産の月次推移
- 表 9-1. 第1期決算報告書：貸借対照表
- 表 9-2. 第1期決算報告書：損益計算書
- 表 9-3. 第2期決算報告書：貸借対照表
- 表 9-4. 第2期決算報告書：損益計算書
- 表 9-5. 前期比較貸借対照表

第10章 起業実践を通じた事業化分析

- 図 10-1. 測定機器の事業進展
- 図 10-2. 照明機器の事業進展
- 図 10-3. 本起業実践における人脈形成と事業化要因の関係図
- 表 10-1. 新株発行までの流れ

第11章 光産業創成に向けて

- 図 11-1. 起業実践哲学までの過程

業績目録

1. 査読付論文

- [1] **T. Ikeda**, G. Popescu, R. Dasari, M. S. Feld, "Hilbert phase microscopy for investigating fast dynamics in transparent systems", Opt. Lett., 30, pp.1165-1167 (2005).
- [2] G. Popescu, **T. Ikeda**, R. Dasari, M. S. Feld, "Erythrocyte structure and dynamics quantified by Hilbert phase microscopy", J. Biomed. Opt. Lett., Vol. 10, 060503 (2005).
- [3] G. Popescu, **T. Ikeda**, R. R. Dasari and M. S. Feld, "Diffraction phase microscopy for quantifying cell structure and dynamics", Opt Lett, 31, pp.775-777 (2006).
- [4] N. Lue, G. Popescu, **T. Ikeda**, R. R. Dasari, K. Badizadegan and M. S. Feld, "Live cell refractometry using microfluidic devices", Opt Lett, 31, pp.2759-2761 (2006).
- [5] G. Popescu, **T. Ikeda**, K. Goda, C. A. Best-Popescu, M. L. Laposata, S. Manley, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Optical measurement of cell membrane tension", Phys. Rev. Lett., 97, 218101 (2006).
- [6] N. Lue, W. Choi, G. Popescu, **T. Ikeda**, R. R. Dasari, K. Badizadegan, and M. S. Feld, "Quantitative phase imaging of live cells using fast Fourier phase microscopy", Appl. Opt. 32, 811 (2007).

2. 外部発表

- [1] **池田貴裕**, G. Popescu, M. S. Feld, "生物細胞の動的構造調査のための定量位相顕微鏡", OPJ2006, 8aE2(2006).
- [2] **池田貴裕**, "フィードバック系及びコモンパス光学系により安定化された定量位相顕微鏡", Proc. of 39th Meeting on Lightwave Sensing Technology, 22, (2007).
- [3] **T. Ikeda**, "Quantitative Phase microscopy for visualization, quantification and analysis of live cells", 第45回日本生物物理学会年会, Dec. 21-23(2007).
- [4] **池田貴裕**, "生物細胞の可視化、定量化、解析のための定量位相顕微鏡", レーザー学会第28回年次大会 (2008).
- [5] **池田貴裕**, "パイフォトニクス株式会社-起業実践による光産業創成に向けて-", 浜松メッセ 2008 イノベーションビジネスマッチング (2008).
- [6] **Takahiro Ikeda**, "Quantitative phase microscopy for quantitative analysis of live cells", Mind Brain Science (2008).
- [7] **池田貴裕**, "ホログラム技術応用による光情報の表示・計測・処理について", 第1回光計算研究会(2008).
- [8] **池田貴裕**, "起業実践による光産業創成", 経営情報学会 2008年春季全国研究発表大会 (2008).
- [9] **池田貴裕**, 宅見宗則, 豊田晴義, "定量位相顕微鏡システムによる透明体の高速測定", 第14回画像センシングシンポジウム (2008).
- [10] **池田貴裕**, "パイフォトニクス株式会社-起業実践による光産業創成-", 第232回オプトフォーラム(2008).
- [11] **池田貴裕**, "ホログラム応用による起業実践", 情報フォトニクス研究会秋合宿 (2008).

- [12] 洲崎悦子, **池田貴裕**, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, “好中球貪食時における開口放出現象の高速イメージング: 定量位相顕微鏡を用いた解析”, 第 17 回日本バイオイメーキング学会 学術集会 (2008).
- [13] **池田貴裕**, “ホログラフィー応用による起業実践を通じた事業化研究”, 光産業創成大学院大学説明会 (2008).
- [14] **池田貴裕**, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, “定量位相顕微鏡システムを用いた開口放出時における生細胞の高速イメージング”, 第 31 回日本分子生物学会年会・第 81 回日本生化学会大会 合同大会 (2008).
- [15] **池田貴裕**, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, “定量位相-明視野デュアルイメージング顕微鏡を用いた好中球開口放出現象の高速長時間測定”, 第 15 回画像センシングシンポジウム (2009).
- [16] **池田貴裕**, “起業実践を通じた起業家精神の獲得”, 広島市立大学第 5 回アントレプレナーシップ・セミナー&第 1 回創造科学セミナー合同企画講演 (2009).
- [17] **池田貴裕**, “細胞定量化のための定量位相顕微鏡: ホロライトを用いた明視野観察系の導入”, 第 15 回日本光生物学協会年会 (2009).
- [18] **池田貴裕**, 洲崎悦子, 藤原久志, 石渡孝, 宅見宗則, 豊田晴義, “好中球貪食時における開口放出現象の定量位相-明視野デュアルイメージング”, 第 18 回 日本バイオイメーキング学会 (2009).
- [19] **池田貴裕**, “起業のきっかけとその後”, ビジネス支援セミナー「起業やらまいか!」(2009).
- [20] 藤原久志, 石渡孝, **池田貴裕**, 洲崎悦子, “定量位相顕微鏡を用いた生細胞の高速動態計測: 明視野観察との融合”, 分子科学討論会 2009 (2009).

3. 競争的資金

- [1] H19年度(独) 科学技術振興機構 地域イノベーション創出総合支援事業(委託研究)
 題目: 定量位相顕微鏡による生物細胞の定量解析技術に関する研究開発, 委託額: 2,000(千円)

4. 執筆記事

- [1] **池田貴裕**, “ホログラムとの融合”, HODIC会報巻頭言 (2008).
- [2] **池田貴裕**, “大面積高輝度高指向性照明装置ホログラム用照明装置「ホロライト」と、その応用事例”, 映像情報インダストリアル, 40/12, pp, 14-17 (2008).

5. 受賞

- [1] 2006年12月 第20回 高柳研究奨励賞
- [2] 2008年11月 第17回日本バイオイメーキング学会 ベストイメージ・晝馬賞
- [3] 2009年1月 第9回掛川ひかりのオブジェ展 掛川商工会議所会頭賞
- [4] 2009年6月 第14回画像センシングシンポジウム SSII08 優秀学術賞

第1期事業報告書

(平成18年10月2日から平成19年9月30日まで)

パイフオトニクス株式会社

The logo consists of the letters 'PiP' in a bold, blue, serif font. The 'i' is lowercase and has a dot, while the 'P's are uppercase.

事業報告書

I 株式会社の現況に関する事項

1. 事業の経過及びその成果

近年、欧米を中心にライフサイエンス（生命科学）に関する研究開発が急ピッチに進められています。2000年に人の遺伝子が解読され、現在はタンパク質の機能及び構造解析が研究されており、今後は生命の最小単位である細胞を定量的に解析する技術開発が必要となってきます。

このような環境のもとにあって、当社はホログラフィー技術を用いて、細胞を非侵襲且つ非接触で高速高精度に定量情報を測定できる定量位相イメージング技術を保有しており、平成18年度のしずおか産業創造機構創業者等研究開発事業採択され人類の役に立つ研究開発を進めています。

今年度は、定量位相顕微鏡を用いたガラス試料の受託測定において1,410千円、定量位相イメージング技術に関する受託研究において476千円、合計1,886千円売上を計上しました。しかしながら、前記研究開発事業に要する費用が発生し、当期純損失1,320千円となりました。

来期は、前記研究開発事業にて研究開発中である既存の顕微鏡を定量位相顕微鏡に拡張可能な定量位相イメージングユニットの製品化を通じて、事業成果を高めていく次第です。

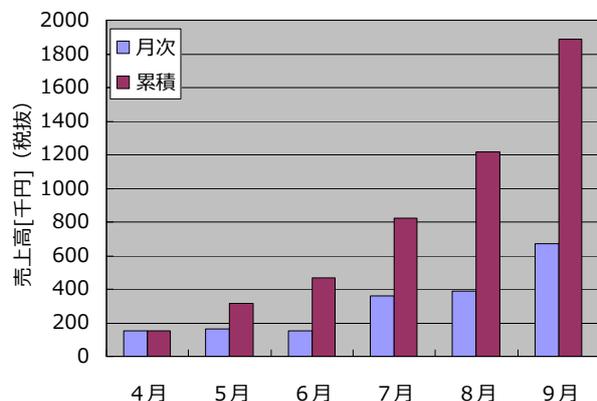
2. 資金調達等についての状況

7月末に浜松市創業サポート資金制度を用いて静岡銀行から200万円の融資を受けました。

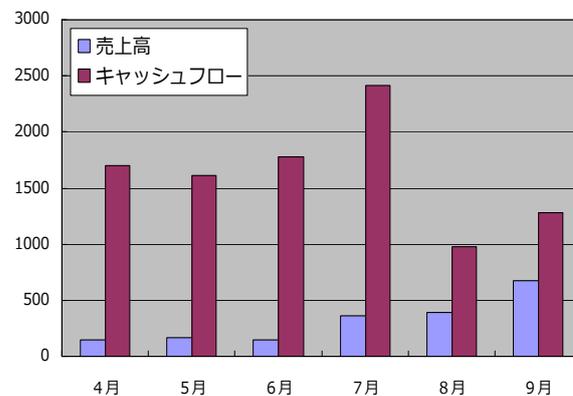
3. 本年度の財産及び損益の状況

4月からガラス試料の受託測定による受注が発生し継続的な売上げが得られました。

7・8月に研究開発事業に要する費用が発生したため7月に融資を受けました。



売上高の推移（月次・累積額）



売上高とキャッシュフローの推移

4. 対処すべき課題

現在、製品開発が進められている定量位相イメージングユニット試作機の展示会出展による営業活動及び、研究開発を進行するための資金調達が必要である。また今後見込まれる受託測定の受注増加に対応するために人員増強が必要である。

5. 主要な事業内容

- ・ 定量位相顕微鏡を用いた透明試料の受託測定
- ・ 定量位相イメージング技術に関する受託研究

6. 主要な借入先及び借入額

借入先	借入残高
静岡銀行 可美支店	1,834 (千円)

7. その他会社の現況に関する重要な事項

本年度、以下の助成事業に採択された。

① しずおか産業創造機構：創業者等研究開発助成事業

研究題目「細胞可視化、定量化、解析のための定量位相イメージング技術に関する研究開発」

実施期間：平成19年1月1日～平成20年2月28日

補助金額：2,000,000円

② 浜松商工会議所：平成19年度産学連携F/S支援事業

研究題目「定量位相顕微鏡による屈折率変化と応力歪み測定に関する研究調査」

実施期間：平成19年8月2日～平成20年2月末日

補助金額：200,000円

II 株式に関する事項

1. 発行済株式の十分の一以上を有する大株主の状況

- | | |
|--------------|--------------|
| ① 発行可能株式総数 | 100,000,000株 |
| ② 発行済株式の総数 | 1,000,000株 |
| ③ 当事業年度末の株主数 | 1名 |
| ④ 大株主 | |

株主名	持株数
池田 貴裕	1,000,000株

III 会社役員に関する事項

1. 地位、氏名及び担当または主な職業

地位	氏名	担当又は主な職業
代表取締役	池田 貴裕	業務全般

2. 重要な兼職の状況

代表取締役池田貴裕は浜松ホトニクス株式会社中央研究所第4研究所に在籍。
現在、光産業創成大学院大学へ留学中。

3. 役員の報酬等の総額

役員報酬はありません。

本事業報告書中の記載金額は表示単位未満の端数を切り捨てて表示しております。

表9-1. 第1期決算報告書：貸借対照表

資産の部		負債の部	
科 目	金 額	科 目	金 額
【流動資産】	1,546,594	【流動負債】	2,508,512
現金及び預金	1,260,857	買掛金	77,700
売掛金	204,750	短期借入金	1,834,000
未収入金	80,987	未払金	31,812
【固定資産】	641,013	未払法人税等	65,000
【有形固定資産】	641,013	仮受金	500,000
工具器具備品	641,013	負債の部合計	2,508,512
		純資産の部	
		【株主資本】	△320,905
		資本金	1,000,000
		利益剰余金	△1,320,905
		その他利益剰余金	△1,320,905
		繰越利益剰余金	△1,320,905
		純資産の部合計	△320,905
資産の部合計	2,187,607	負債及び純資産合計	2,187,607

表9-2. 第1期決算報告書：損益計算書

科 目	金 額	
【売上高】		
売上高	1,886,190	
売上高合計		1,886,190
【売上原価】		
当期製品製造原価	2,010,293	
合計	2,010,293	
製品売上原価		2,010,293
売上原価		2,010,293
売上総損失金額		124,103
【販売費及び一般管理費】		
販売費及び一般管理費合計		874,392
営業損失金額		998,495
【営業外収益】		
受取利息	1,651	
雑収入	19	
営業外収益合計		1,670
【営業外費用】		
支払利息	16,003	
繰延資産償却	242,750	
営業外費用合計		258,753
経常損失金額		1,255,578
税引前当期純損失金額		1,255,578
法人税・住民税及び事業税		65,000
法人税等		327
当期純損失金額		1,320,905

第2期事業報告書

(平成19年10月1日から平成20年9月30日まで)

パイフオトニクス株式会社

The logo consists of the letters 'PiP' in a bold, blue, serif font. The 'i' is lowercase and has a dot, while the 'P's are uppercase.

事業報告書

I 株式会社の現況に関する事項

1. 事業の経過及びその成果

弊社は人に優しい光技術を融合した製品の提供を通じて、ヒトと社会のネットワークを融合し、地球に貢献することを企業理念とし、工業・起業の街である浜松市から最先端の光技術を内外共に発信し続けることにより、社会におけるシーズとニーズの融合に寄与します。光技術を用いた新市場の形成を通じて、光産業の創成を目指し、行く末は人類に新しい文化をもたらすことをビジョンとします。

本年度は、ホログラフィー応用に関する事業化を目指して、大面積高輝度高指向性照明装置「ホロライト」の製品化を進めて来ました。ホロライトの研究開発費として1,816千円を計上しています。また、展示会への出展による販路開拓を精力的に進めることにより、表示機器1,020千円、測定機器950千円、照明機器2,775千円、光学設計3,404千円、その他504千円、合計8,653千円の売上高を計上しました。さらに特別利益として、5,800千円の助成金補助金収入を計上しました。結果として、当期純利益金額は2,532千円となりました。

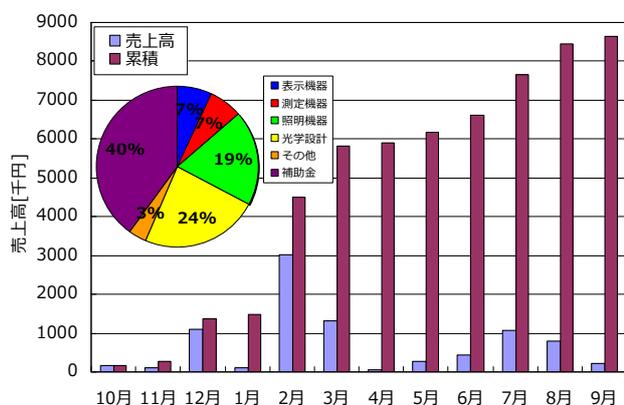
来年度は、事業拠点を浜松イノベーションキューブに移転し、表示・測定・照明機器の開発及び営業を精力的に進める次第です。

2. 資金調達等についての状況

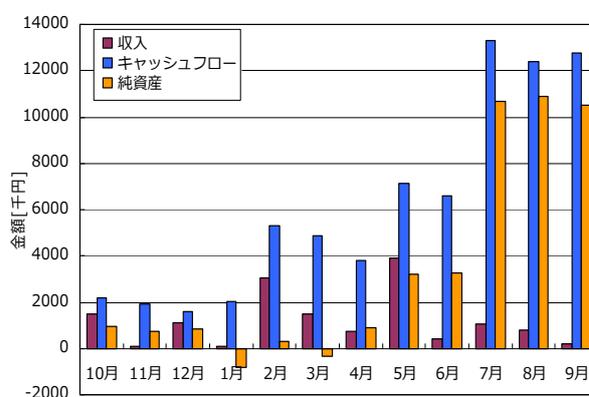
2月に浜松市創業サポート資金制度にて、浜松信用金庫から5,000千円の融資を受けました。7月に資本金を8,400千円に増資しました。

3. 本年度の財産及び損益の状況

ホロライトの製品化により毎月継続的な売上げが得られました。事業内容の内、表示機器・測定機器・照明機器の利益率は高く、一方、光学設計は外注加工によるため利益率は低いのが特徴です。補助金助成金収入により10月、3月、4月、5月に特別利益が発生しています。有形固定資産として、レンズ金型が2台あります。「ホロライト HOLORER-it!」の商標が登録されました。ホロライトに関する意匠1件、特許を2件出願しています。また、ホームページが4月に公開されました。



売上高の推移（月次・累積額）



収入とキャッシュフローと純資産の推移

4. 対処すべき課題

- ・ 定量位相イメージングユニットの販路開拓
- ・ ホロライトの販路拡大
- ・ 技術部、総務部、営業部の人材確保

5. 主要な事業内容

表示機器：計算機ホログラム素子の設計

測定機器：定量位相顕微鏡を用いた受託測定サービス

照明機器：大面積高輝度高指向性照明装置ホロライトの製造販売

光学設計：光学素子や光学機器の受託開発

6. 主要な借入先及び借入額

借入先	借入残高
静岡銀行 可美支店	0 (千円)
浜松信用金庫 湖東支店	3, 537 (千円)

7. その他会社の現況に関する重要な事項

本年度、以下の助成事業に採択された。

① しずおか産業創造機構：創業者等研究開発助成事業

研究題目「細胞可視化、定量化、解析のための定量位相イメージング技術に関する研究開発」

実施期間：平成19年1月1日～平成20年2月28日

補助金額：2, 000, 000 円

② 浜松商工会議所：平成19年度産学連携F/S支援事業

研究題目「定量位相顕微鏡による屈折率変化と応力歪み測定に関する研究調査」

実施期間：平成19年8月2日～平成20年2月末日

補助金額：200, 000 円

③ 浜松市：平成19年度オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業

研究題目「大面積高均一高輝度高指向性照明装置の開発」

実施期間：平成19年11月12日～平成20年3月31日

補助金額：3, 600, 000 円

④ 浜松市：平成20年度オプトロニクスクラスター創成事業化開発費補助事業

研究題目「大面積高輝度高指向性照明装置の開発」

実施期間：平成20年6月11日～平成21年3月31日

補助金額：4, 300, 000 円

II 株式に関する事項

1. 発行済株式の十分の一以上を有する大株主の状況

- | | |
|--------------|--------------|
| ① 発行可能株式総数 | 100,000,000株 |
| ② 発行済株式の総数 | 1,740,000株 |
| ③ 当事業年度末の株主数 | 10名 |
| ④ 大株主 | |

株主名	持株数	持株比率
池田 貴裕	1,500,000株	86.2%

III 会社役員に関する事項

1. 地位、氏名及び担当または主な職業

地位	氏名	担当又は主な職業
代表取締役	池田 貴裕	業務全般

2. 重要な兼職の状況

代表取締役池田貴裕は浜松ホトニクス株式会社中央研究所第4研究所に在籍。
現在、光産業創成大学院大学へ留学中。平成21年3月末卒業予定。

3. 役員の報酬等の総額

役員報酬は平成20年1月から月額10万円です。

本事業報告書中の記載金額は表示単位未満の端数を切り捨てて表示しております。

表B-1. 第2期決算報告書：貸借対照表

資産の部		負債の部	
科 目	金 額	科 目	金 額
【流動資産】	13,942,577	【流動負債】	3,882,151
現金及び預金	12,081,116	買掛金	180,968
売掛金	388,500	一年以内返済長期借入金	2,508,000
貸倒引当金	△3,000	未払金	498,248
原材料	518,602	未払法人税等	670,600
仕掛品	596,826	預り金	24,335
前払費用	240,075	【固定負債】	1,029,000
未収入金	120,458	長期借入金	1,029,000
【固定資産】	580,380	負債の部合計	4,911,151
【有形固定資産】	570,380	純資産の部	
工具器具備品	570,380	【株主資本】	9,611,806
【投資その他の資産】	10,000	資本金	8,400,000
出資金	10,000	利益剰余金	1,211,806
		その他利益剰余金	1,211,806
		繰越利益剰余金	1,211,806
		純資産の部合計	9,611,806
資産の部合計	14,522,957	負債及び純資産合計	14,522,957

表B-2. 第2期決算報告書：損益計算書

科 目	金 額	
【売上高】		
売上高	8,653,782	
売上高合計		8,653,782
【売上原価】		
当期製品製造原価	6,623,033	
合計	6,623,033	
製品売上原価		6,623,033
売上原価		6,623,033
売上総利益金額		2,030,749
【販売費及び一般管理費】		
販売費及び一般管理費合計		4,581,103
営業損失金額		2,550,354
【営業外収益】		
受取利息	7,730	
受取配当金	600	
雑収入	509	
営業外収益合計		8,839
【営業外費用】		
支払利息	55,174	
営業外費用合計		55,174
経常損失金額		2,596,689
【特別利益】		
助成金補助金	5,800,000	
特別利益合計		5,800,000
税引前当期純利益金額		3,203,311
法人税等		670,600
当期純利益金額		2,532,711

表B-3. 前期比較貸借対照表

科 目	当会計年度末		前会計年度末		増 減	
	平成20年 9月30日	現在	平成19年 9月30日	現在	増減金額	増減率(%)
	金額	構成比(%)	金額	構成比(%)		
資 産 の 部						
【流動資産】						
現金及び預金	12,081,116		1,260,857		10,820,259	858.2
売掛金	388,500		204,750		183,750	89.7
貸倒引当金	△3,000		0		△3,000	-
原材料	518,602		0		518,602	-
仕掛品	596,826		0		596,826	-
前払費用	240,075		0		240,075	-
未収入金	120,458		80,987		39,471	48.7
流動資産合計	13,942,577	96.0	1,546,594	70.7	12,395,983	801.5
【固定資産】						
【有形固定資産】						
工具器具備品	570,380		641,013		△70,633	-11.0
有形固定資産合計	570,380	3.9	641,013	29.3	△70,633	-11.0
【投資その他の資産】						
出資金	10,000		0		10,000	-
投資その他の資産合計	10,000	0.1	0	0.0	10,000	-
固定資産合計	580,380	4.0	641,013	29.3	△60,633	-9.5
資産の部合計	14,522,957	100.0	2,187,607	100.0	12,335,350	563.9
負 債 の 部						
【流動負債】						
買掛金	180,968		77,700		103,268	132.9
短期借入金	0		1,834,000		△1,834,000	-
一年以内返済長期借入金	2,508,000		0		2,508,000	-
未払金	498,248		31,812		466,436	14.7
未払法人税等	670,600		65,000		605,600	931.7
預り金	24,335		0		24,335	-
仮受金	0		500,000		△500,000	-
流動負債合計	3,882,151	26.7	2,508,512	114.7	1,373,639	54.8
【固定負債】						
長期借入金	1,029,000		0		1,029,000	-
固定負債合計	1,029,000	7.1	0	0.0	1,029,000	-
負債の部合計	4,911,151	33.8	2,508,512	114.7	2,402,639	95.8
純 資 産 の 部						
【株主資本】						
資本金	8,400,000		1,000,000		7,400,000	740.0
利益剰余金						
その他利益剰余金						
繰越利益剰余金	1,211,806		△1,320,905		2,532,711	-
その他利益剰余金合計	1,211,806	8.3	△1,320,905	-60.4	2,532,711	-

表B-4. 前期比較損益計算書

科 目	当会計年度		前会計年度		増 減	
	自 平成19年10月 1日		自 平成18年10月 2日			
	至 平成20年 9月30日		至 平成19年 9月30日		増減金額	増減率(%)
	金額	百分比(%)	金額	百分比(%)		
【売上高】						
売 上 高	8,653,782		1,886,190		6,767,592	358.8
売 上 高 合 計	8,653,782	100.0	1,886,190	100.0	6,767,592	358.8
【売上原価】						
当 期 製 品 製 造 原 価	6,623,033		2,010,293		4,612,740	229.5
合 計	6,623,033	76.5	2,010,293	106.6	4,612,740	229.5
製 品 売 上 原 価	6,623,033	76.5	2,010,293	106.6	4,612,740	229.5
売 上 原 価	6,623,033	76.5	2,010,293	106.6	4,612,740	229.5
売 上 総 利 益 金 額	2,030,749	23.5	△124,103	-6.6	2,154,852	-
【販売費及び一般管理費】						
役 員 報 酬	900,000		0		900,000	-
荷 造 運 賃	51,632		1,086		50,546	46.5
広 告 宣 伝 費	640,000		98,000		542,000	553.1
接 待 交 際 費	33,900		6,314		27,586	436.9
会 議 費	70,187		28,908		41,279	142.8
旅 費 交 通 費	551,288		102,013		449,275	440.4
通 信 費	122,699		0		122,699	-
消 耗 品 費	436,069		596,730		△160,661	-26.9
事 務 用 消 耗 品 費	94,052		19,316		74,736	386.9
修 繕 費	8,400		0		8,400	-
新 聞 図 書 費	2,271		0		2,271	-
諸 会 費	53,000		0		53,000	-
支 払 手 数 料	20,727		2,325		18,402	791.5
車 両 費	106,879		0		106,879	-
保 險 料	47,700		0		47,700	-
租 税 公 課	182,901		19,700		163,201	828.4
支 払 報 酬 料	1,256,350		0		1,256,350	-
貸 倒 引 当 金 繰 入 額	3,000		0		3,000	-
雑 費	48		0		48	-
販 売 費 及 び 一 般 管 理 費 合 計	4,581,103	52.9	874,392	46.4	3,706,711	423.9
営 業 利 益 金 額	△2,550,354	-29.5	△998,495	-52.9	△1,551,859	-
【営業外収益】						
受 取 利 息	7,730		1,651		6,079	368.2
受 取 配 当 金	600		0		600	-
雑 収 入	509		19		490	25.8
営 業 外 収 益 合 計	8,839	0.1	1,670	0.1	7,169	429.3
【営業外費用】						
支 払 利 息	55,174		16,003		39,171	244.8
繰 延 資 産 償 却	0		242,750		△242,750	-
営 業 外 費 用 合 計	55,174	0.6	258,753	13.7	△203,579	-78.7
経 常 利 益 金 額	△2,596,689	-30.0	△1,255,578	-66.6	△1,341,111	-
【特別利益】						
助 成 金 補 助 金	5,800,000		0		5,800,000	-
特 別 利 益 合 計	5,800,000	67.0	0	0.0	5,800,000	-
税 引 前 当 期 純 利 益 金 額	3,203,311	37.0	△1,255,578	-66.6	4,458,889	-
法 人 税 ・ 住 民 税 及 び 事 業 税	0		65,000		△65,000	-
法 人 税 等	670,600		327		670,273	2050
当 期 純 利 益 金 額	2,532,711	29.3	△1,320,905	-70.0	3,853,616	-

謝辞

本論文の執筆は2008年12月24日から行いました。世間で言うクリスマス・イブが終わると、年末年始に突入し、その期間には電話もメールも少なくなり、論文執筆のチャンスとなりました。結果として、3月末の完成は見送ることになったのですが、今回、無事に博士論文を完成することができました。今までお世話になった皆様に感謝いたします。

光産業創成大学院大学の理事長兼、浜松ホトニクス株式会社の晝馬輝夫社長には、私の度重なる経験報告に対して、貴重な経験あふれる意見を頂きました。常に的を射た言葉ばかりで厳粛に受け止めております。社長のお言葉にある「山を越えたら次の山がある」と言う、その言葉を現実を感じています。今後も社長の暗黙知として受け継ぎたいと思います。本当に感謝の念で一杯です。

浜松ホトニクス株式会社中央研究所の鈴木義二所長には、光産業創成大学院大学への留学を快く認めて頂き、また大学での活動に対して暖かく見守って頂けました。ここに感謝の意を表します。

中央研究所第4研究室の原勉室長には、相談役として、沢山の意見を頂きました。これからも将来に渡り、苦難が待ち受けていると思いますが、見守って頂ければと思います。心から感謝します。

第4研究室の竹森民樹主任と豊田晴義主任及び、第7研研究室の岩井秀直研究員には、表示及び測定応用に関する技術的な支援をして頂きました。これからもよろしくお願ひします。心から感謝します。

光産業創成大学院大学のメンバーとして、同期の浦上恒幸氏と下北良氏には、夜遅くまで頑張り合いました。これからは、新産業を実践しうる人材として、胸を張って歩んで行きましょう。

天野雅貴先生には、短い間でしたが、指導教官として、沢山励まして頂きました。博士論文提出のべ切終了直前まで付き合って頂き、無事に博士論文提出を見届けてもらいました。これから将来に向けて、高い志を持って歩んでいきたいと思ひます。ありがとうございました。

松田浄史先生、石井勝弘先生、花山良平先生には、光情報・システム分野として、分野ゼミを中心に、私の無茶振りを心行くまで受け止めて頂きました。ありがとうございました。

江田英雄先生には、新しい大学にぴったりの柔軟かつアクティブな思考と、本学における研究の位置付けについて、多大な刺激を頂きました。本論文の基礎となった、個人の立場から法人の代表者になる意味合いについて、深く考えさせられました。ありがとうございました。

部谷学先生、沖原伸一朗先生には、光加工・プロセス分野として、分野ゼミから展示会出展など、様々な面でお世話になりました。これからもよろしくお願ひ致します。

加藤義章学長、鈴木鐵也先生には、博士論文のコメントを頂きました。ありがとうございました。

氏家広二氏、徳田裕祐氏には、大学の事務局として、些細な内容から、どうしようもない話まで付き合って頂きました。これからもよろしくお願ひ致します。

パイフォトンクス株式会社の株主の皆様には、貴重な財産を投資して頂きました。これから、少しずつ恩返しをしたいと思ひます。これからもよろしくお願ひします。

その他、起業実践を通じて知り合った方々には、沢山の事を学ばせて頂きました。出張をすることの有意義さ、人と会って目と目を合わせて話をする大切さ、一緒に成長することの重要性、見積り

の方法、根拠の必要性、行動と結果は遅れて付いてくること、などなど、本当に沢山の事を諸先輩方から学びました。これらは、教えて貰えることではなく、お金を出しても買えるものでもなく、人と人との連携と融合による副産物です。これが一番の起業実践による成果であり、財産であると思います。

最後になりましたが、起業後何をしたら良いか分からない絶望感から浜松を逃げたい時に、駄目なら駄目であきらめて実家に帰れば良いと、暖かく見守ってくれた母峯子に心から感謝します。そして、2008年3月23日に、突然の不幸で世を去った亡き父武士には、会社の事について、沢山の事を教えてもらいました。父の遺志を引き継ぎ、これからの商売を繁盛させて行きたいと思います。今まで本当にありがとうございました。今後ともパイフोटニクスを成長させていきます。

以上

2009年8月31日

池田 貴裕