

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

電子部品・デバイスの実装評価に必須な局所領域・空間における漏れ磁界・磁化の動的挙動を可視化する技術の開発

## 研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 ネオアーク株式会社

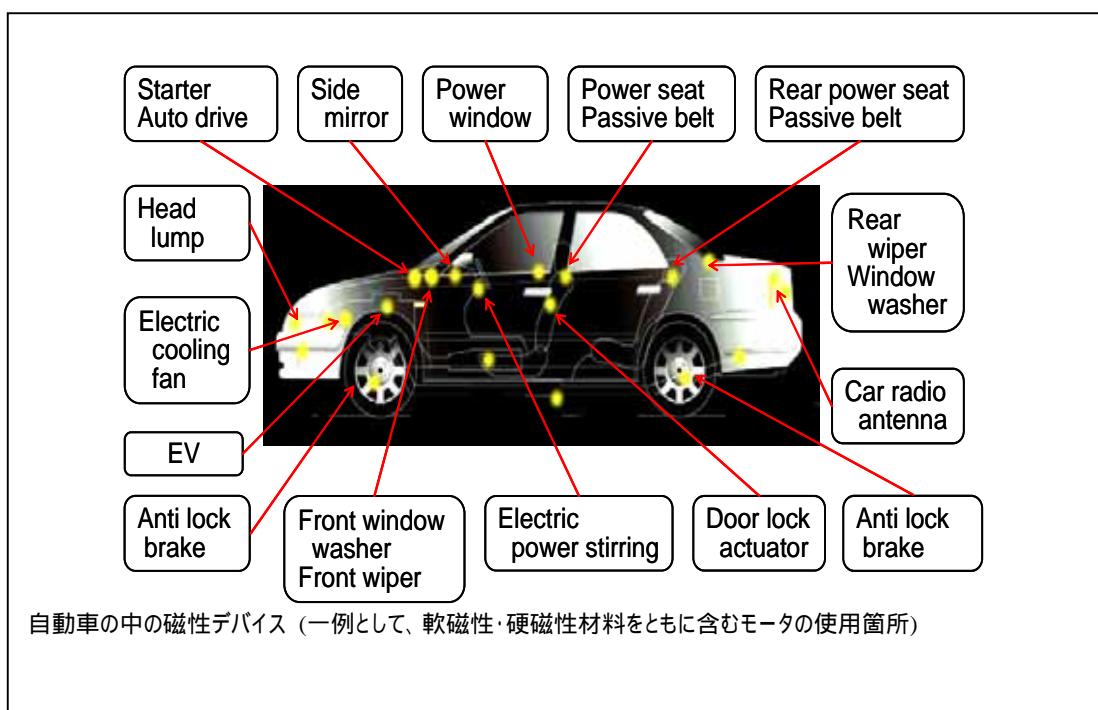
## 目次

<b>第1章 研究の概要</b> .....	<b>1</b>
<b>1-1. 研究の背景</b> .....	<b>1</b>
<b>1-1-2. 研究の目的・目標</b> .....	<b>2</b>
<b>1-2. 研究体制</b> .....	<b>3</b>
<b>1-2-1. 所在地</b> .....	<b>3</b>
<b>1-2-2. 研究体制・管理体制</b> .....	<b>3</b>
<b>1-2-3. 管理員及び研究員</b> .....	<b>5</b>
<b>1-3. 成果概要</b> .....	<b>6</b>
<b>1-3-1. 実施期間</b> .....	<b>6</b>
<b>1-3-2. 研究成果の概要</b> .....	<b>7</b>
<b>1-4. 当該研究開発の連絡窓口</b> .....	<b>8</b>
<b>第2章 研究成果</b> .....	<b>9</b>
<b>2-1. 平行光学系(磁区観察)と集光光学系(局所磁化過程検出)との両立技術の開発</b> .....	<b>9</b>
<b>2-1-1. 本テーマの目的</b> .....	<b>9</b>
<b>2-1-2. 研究の内容</b> .....	<b>9</b>
<b>2-1-3. 結果</b> .....	<b>9</b>
<b>2-1-4. まとめ</b> .....	<b>10</b>
<b>2-2. 汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発</b> .....	<b>12</b>
<b>2-2-1. 本テーマの目的</b> .....	<b>12</b>
<b>2-2-2. 研究の内容</b> .....	<b>12</b>
<b>2-2-3. 結果</b> .....	<b>12</b>
<b>2-2-4. まとめ</b> .....	<b>12</b>
<b>2-3. レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立</b> .....	<b>15</b>
<b>2-3-1. 本テーマの目的</b> .....	<b>15</b>
<b>2-3-2. 研究の内容</b> .....	<b>15</b>
<b>2-3-3. まとめ</b> .....	<b>18</b>
<b>2-4. 汎用型電磁環境・磁化過程可視装置製作の実験試作機の システム化の構想</b> .....	<b>19</b>
<b>2-4-1. 本テーマの目的</b> .....	<b>19</b>
<b>2-4-2. 研究の内容</b> .....	<b>19</b>
<b>2-4-3. まとめ</b> .....	<b>22</b>
<b>第3章 全体統括</b> .....	<b>23</b>

# 第1章 研究の概要

## 1-1. 研究の背景

近年、自動車産業においてはエレクトロニクス部品の普及が急速に進められており、車載用電子部品・デバイスには強磁性材料が多数使用されるようになってきた。その結果として、電動器(モーター)・トランス・インダクタ等の製造分野では省エネルギー化・省資源化・高効率化が強く求められるようになってきた。加えて上記デバイスを車載し省エネルギー動作させるためには、自動車の各所に高性能磁気センサが必要であり、そこにはセンサの高感度化・高耐久性化が求められている。センサ信号は電子回路により処理されるため、デバイス実装の際の高集積化かつ電磁環境適合化が求められている。



電子部品のデバイス実装を行う際の高集積化かつ電磁環境適合化では誤動作防止等の観点から、実装部品周辺の電磁界分布の計測が必要となる。特に高密度に実装されたプリント配線板内の IC や LSI においては回路周辺での  $\mu\text{m}$  オーダーの高周波電磁界分布の計測が必要である。これらのうち、その遮蔽が困難な事から特に高周波の磁界分布測定が重要である。磁界分布の計測法としてはホールプローブ法、アンテナアレイ法等が、現在開発されてきている。しかしこれらの方法は、1).空間分解能が低い、2).動的な磁化変化を観測できない、3).走査型の計測方法であるため測定には長い時間を要する、という問題があった。

## 1-1-2. 研究の目的・目標

### 1-1-2-1. 目的

本研究開発の目的は、小型電動器・トランス・インダクタ・高感度磁気センサ等、完成形状のデバイスの、実動周波数での局所領域・空間における漏れ磁界・磁化の動的挙動を可視化する技術を確立することである。この技術の確立により、自動車の電子部品・デバイスの実装高集積化・電磁環境適合化で達成すべき耐熱・高信頼性解析技術、電波雑音制御のための電磁妨害放射・電磁環境適合性実装技術の確立等を可能にする。研究の目標として、空間分解能 $1\text{ }\mu\text{m}$ オーダ、時間分解能 $500\text{ ps}$ 以下の磁区観察と局所磁化過程検出を実現し、完成形状のデバイスの、実動周波数での局所領域・空間における漏れ磁界・磁化の動的挙動の可視化を行う。

### 1-1-2-2. 目標

本研究開発では、事業管理者が業界をリードしている「可視光をプローブとした磁気光学効果」を発展させ、磁区観察技術および、局所磁化過程検出技術の改善を図るとともに、これらの光学系の両立を図る。

まず、磁区観察に好適な白色光を用いた平行光学系と、局所磁化過程検出に好適なレーザ光を用いた集光光学系の、相反する光学系を両立可能な光学系を構築する。

時間分解能を向上させるための取り組みとして、汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発を行う。

上記の汎用半導体レーザの短パルス光発振技術を磁区観察の時間分解能向上に応用するための取り組みとして、レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立を図る。

これらにより、空間分解能 $1\text{ }\mu\text{m}$ オーダ、時間分解能 $500\text{ ps}$ 以下の磁区観察と局所磁化過程検出を実現し、完成形状のデバイスの、実動周波数での局所領域・空間における漏れ磁界・磁化の動的挙動の可視化を目指す。

## 1-2. 研究体制

### 1-2-1. 所在地

#### 事業管理者

ネオアーク株式会社 東京営業部(最寄り駅:JR 中央線 八王子駅)

〒192-0015 東京都八王子市中野町2073-1

研究実施場所(主たる研究実施場所については、下線表記。)

ネオアーク株式会社 東京営業部

(最寄り駅:JR中央線 八王子駅) <再掲>

〒192-0015 東京都八王子市中野町2073-1

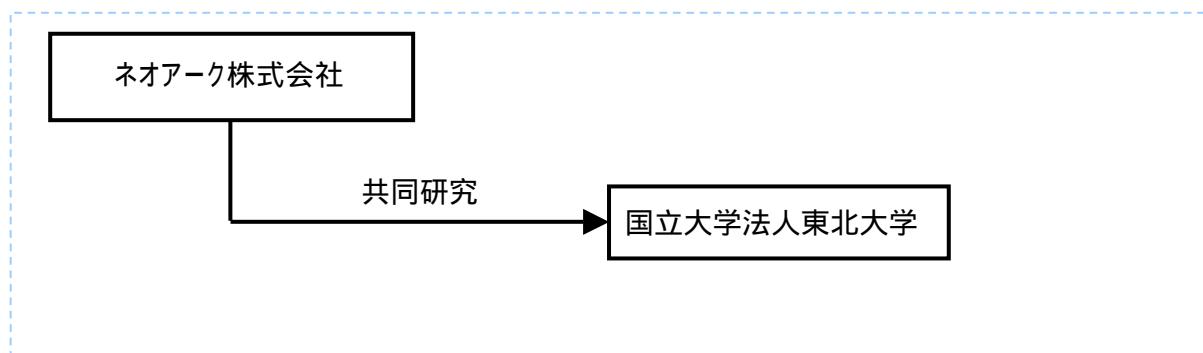
国立大学法人東北大学

(最寄り駅:JR 東北新幹線 仙台駅 東北大学工学部中央停留所)

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉6-6-05

### 1-2-2. 研究体制・管理体制

#### 研究組織(全体)



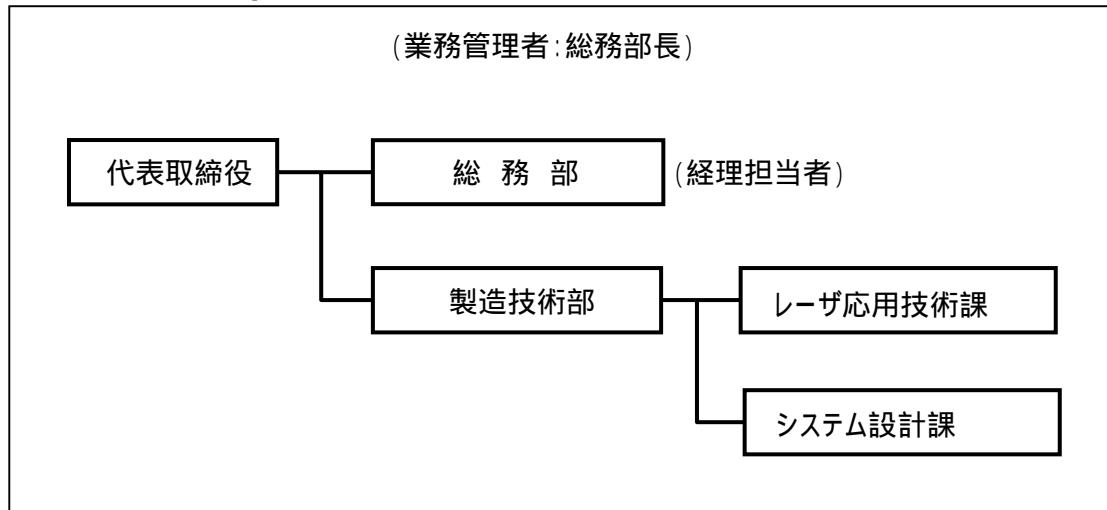
統括研究代表者(PL)  
ネオアーク株式会社  
磁気光学部門  
エグゼクティブ・フェロー  
赤羽 浩一

副統括研究代表者(SL)  
国立大学法人東北大学  
大学院工学研究科電子工学専攻  
教授 高橋 研

## 管理体制

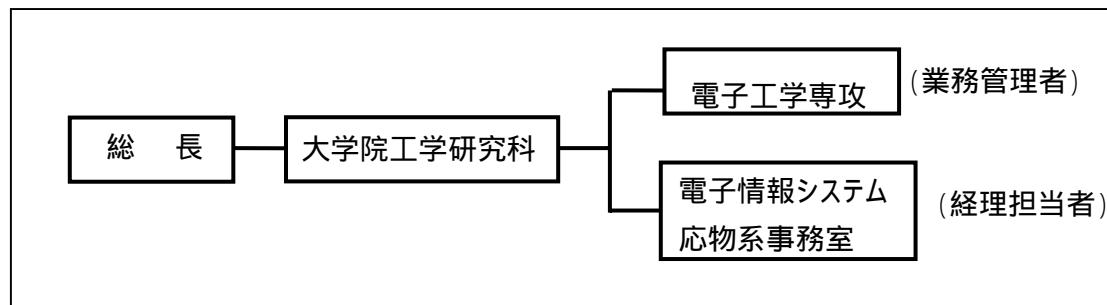
[事業管理者]

[ネオアーク株式会社]



[共同研究先]

[国立大学法人東北大学]



### 1-2-3. 管理員及び研究員

事業管理者： ネオアーク株式会社

#### 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
寺原 俊昭	総務部 部長	
赤羽 浩一	磁気光学部門 エグゼクティブ・フェロー	
古谷 泰司	製造技術部	

#### 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
赤羽 浩一	磁気光学部門 エグゼクティブ・フェロー	
目黒 栄	製造技術部	
古谷 泰司	製造技術部	
柳沢 栄二	製造技術部	
小田切 雄介	製造技術部	

共同研究先： 国立大学法人東北大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
高橋 研	東北大学 大学院工学研究科電子工学専攻 教授	
齊藤 伸	東北大学 大学院工学研究科電子工学専攻 准教授	

#### 経理担当社及び業務管理者の所属、氏名

##### 1. 事業管理者

ネオアーク株式会社

##### 経理担当者

ネオアーク(株) 総務部長

寺原 俊昭

##### 業務管理者

ネオアーク(株) 総務部長

寺原 俊昭

ネオアーク(株) エグゼクティブフェロー

赤羽 浩一

ネオアーク(株) 製造技術部

古谷 泰司

## 2. 共同研究先

国立大学法人東北大学

経理担当者

東北大学工学部工学研究科 電子情報システム・応物系事務室長

武藤輝芳

業務管理者

東北大学大学院工学研究科 電子工学専攻

高橋 研

### 1-3. 成果概要

#### 1-3-1. 実施期間

契約締結日から平成 22 年 3 月 31 日まで

実施内容・期間

実施内容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
平行光学系(磁区観察:白色光)と集光光学系(局所磁化過程検出:レーザ光)との両立技術の予備調査を実施するとともに一部を設計・試作した							←	→				
汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発の一部を設計・試作した							←	→				
レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立の一部を試作して、実際の観察エリア内のスペックルノイズ抑制状態を検証・評価した							←	→				
汎用型電磁環境・磁化過程可視化装置製作の実験試作機のシステム化を構想した							←	→				
プロジェクトの管理・運営並びに報告書を作成した							←	→				↓

### 1-3-2. 研究成果の概要

#### 実施内容(平成 21 年度)

平行光学系(磁区観察:白色光)と集光光学系(局所磁化過程検出:レーザ光)との両立(実施:ネオアーク株式会社、東北大学)

集光光学系を基本とし、レンズの挿入抜去により平行光学系に切替る切替機構開発に関する予備調査を実施した。

レンズ系の最適化を行うことにより専用光学系の一部を設計、試作した。

汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発(実施:ネオアーク株式会社)  
高繰返し(~1MHz)極小短パルス(パルス幅<1ナノ秒)を実現するパルス発生回路開発ための予備実験を実施した。

バイアス回路と電流極小短パルス回路を融合した高周波回路開発のための予備実験を実施した。

上記の二つの回路とパルス光発生用半導体レーザとのマッチング技術を確立するための予備実験を実施した。汎用半導体レーザを用いた短パルス光源の一部を設計、試作した。

レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立(実施:ネオアーク株式会社、東北大学)

レーザ光のインコヒーレント化原理の調査および実現のための予備実験を実施する。平成 21 年度中に平行光学系の一部を試作して、実際の観察エリア内のスペックルノイズ抑制状態を検証・評価した。

上記 3 テーマを組み合わせた汎用型電磁環境・磁化過程可視装置製作(実施:ネオアーク株式会社、東北大学)

最終的に上記 3 テーマを組み合わせた実験試作機を試作することを目指して、平成 21 年度中には実験試作機のシステム化を構想した。

#### プロジェクトの管理・運営

- ・事業管理者・ネオアーク株式会社において、本プロジェクトの管理を行った。プロジェクトの研究経緯と成果についてとりまとめ、成果報告書を作成した。
- ・本研究開発の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化や製品開発における課題等について、研究実施者と打合せ・調整等行った。
- ・東北大学と面談、電子メール、電話などで頻繁に打合せを行い、機能的に連携し、各サブテーマにおいて効率的なプロジェクトの運営を行うことで、最大の成果が得られるように管理した。

#### **1-4. 当該研究開発の連絡窓口**

ネオアーク株式会社 製造技術部 赤羽浩一

Tel:042-627-7211 Fax:042-627-5110

e-mail: akahane@neoark.co.jp

## 第2章 研究成果

### 2-1. 平行光学系(磁区観察)と集光光学系(局所磁化過程検出)との両立技術の開発

#### 2-1-1. 本テーマの目的

#### 2-1-2. 研究の内容

##### (a)平行光学系と集光光学系切替機構の開発

平行光学系と集光光学系という、相反する光学系を両立させるため、集光光学系を基本とし、レンズの挿入抜去により平行光学系に切替る切替機構を開発するとともに、レンズ系の最適化を行うことにより専用光学系を設計、試作する。

##### (b)専用光学系の設計及び試作

構成する光学系の1部としてハロゲンランプや高輝度 LEDなどの面光源の強度分布を簡単にほぼガウシアン分布する変換光学系の試作を行う。

#### 2-1-3. 結果

##### (a)平行光学系と集光光学系切替機構の開発

レーザ光による磁区観察用平行光学系と局所磁化過程検出用集光光学系の両立を実現するための光学設計を行った。

局所磁化過程検出を行う場合はレーザ光を最大限に集光する集光光学系が必要になる。これを実現するには対物レンズの有効径でケラれる事無く最も太いビームを入れる必要がある。また、レーザ光の波面収差も影響するため、使用するレンズの収差を十分に考慮する必要がある。これらを踏まえて光学設計を行った。

次に、上記で設計した集光光学系の光路にレンズを追加することにより対物レンズの像側焦点位置にレーザ光を集光することにより試料を平行光で照明する事が可能となる。

この場合、レーザ光の強度分布が問題となるため、観察エリアの大きさと強度分布を考慮して光学設計を行った。平行光学系用に追加したレンズは位置再現性のある機構で光路に対して挿入抜去可能となるよう設計した。

また、パルスレーザ光による磁区観察や局所磁化過程の検出を行うにあたり、試料の観察 / 検出場所を事前に特定する必要がある。これを実現する簡便な方法としては従来の白色光による静的な磁区観察が有効である。そこで、白色光による磁区観察機構も取り入れた光学系の設計を行った。

上記の設計に基づき、一部光学系を試作した。

##### (b)専用光学系の設計及び試作

ハロゲンランプや高輝度 LEDなどの面光源の光強度分布を簡単にほぼガウシアン分布することが可能で、変換時の光強度の損失が少ない光学系の試作に成功

#### 2-1-4. まとめ

通常ハロゲンランプや高輝度 LED などの面光源を照明用光源として使用する場合、図 1 に示したような例に様に発光面の形状の問題で光強度分布ムラの補正を行う必要があった。光強度分布ムラを補正する方法として拡散板を利用する方法が良く使われるが、この方法は補正を行うときに大きな光強度の損失が発生するという問題を持っている。このため観測に必要な光強度を得るために、元となる光源に高い絶対光量を必要とした。

拡散板の代わりに本研究で試作した光学系を用いたときに強度分布を図 2 に示す。図 2 から判るように光強度分布は、ほぼガウシアン分布になっていることが確認できた。また光強度の損失も 1/5 以下と効率よく変換が行われていることが確認された。

以上の結果より絶対光量を必要とする広視野磁区観察に有用であると考える。

また試作した光学系は、光ファイバーを用いた伝送にも簡単に対応が可能で装置レイアウトに自由度を与えることが出来ると考える。

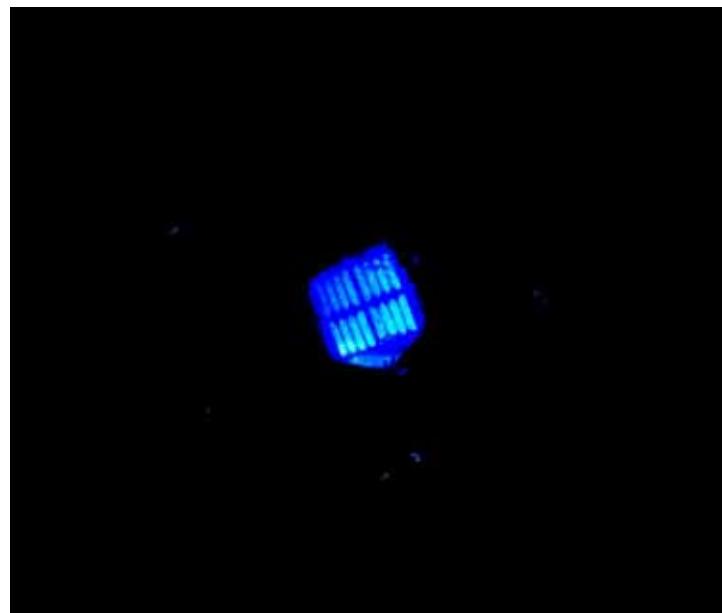
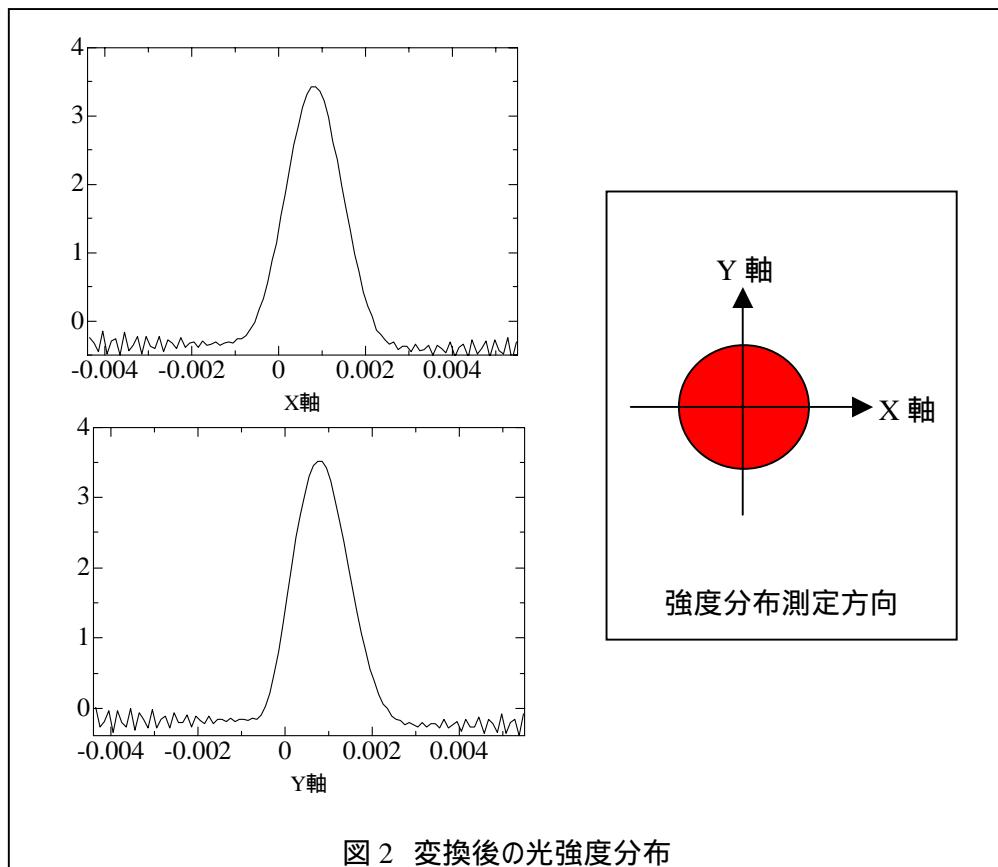


図 1 面光源 発光面例



## 2-2. 汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発

### 2-2-1. 本テーマの目的

高周波領域における局所的磁化過程の検出を行うためには、

1.微小領域の計測が可能であること。( ~ 数  $\mu\text{m}$  )

2.高速な応答性を保有すること。( ~ 1GHz)

の条件が必要とされる。

半導体レーザはパルス状の電流を印加すると、印加したパルス状電流波形に相似な光を放出するため、固体レーザ等に比べて制御が容易である。また半導体レーザ光は容易に ~ 数  $\mu\text{m}$  の領域に集光することが可能であるという利点をもつ。このため、高周波領域における局所的磁化過程の検出用測定プローブとしては、半導体レーザを用いることが良いと考える。

そこで高周波領域における局所的磁化過程の検出用測定プローブとして利用を可能とする汎用半導体レーザ素子を利用した短パルス化(パルス幅<1ナノ秒)及び高繰り返し化(繰り返し周波数 > 1MHz)の開発を目的とする。

### 2-2-2. 研究の内容

研究方法として、下記の 2 方式で開発を行った。

(a)DC ~ 1GHz 帯域までパルス幅連続可変可能汎用半導体レーザ装置技術開発

(b)利得スイッチ法による汎用半導体レーザ装置技術開発

### 2-2-3. 結果

(a)DC ~ 1GHz 帯域までパルス幅連続可変可能汎用半導体レーザ装置技術開発

発振しきい値近傍まで DC バイアス電流を印加させた半導体レーザにパルス電流を印加する方法を基礎技術として、新規回路開発を行った結果、汎用的な半導体レーザにてパルス幅約 500p 秒 (@半値全幅)立ち上がり約 100p 秒 繰り返し周波数 1MHz を達成した。

(b)利得スイッチ法による汎用半導体レーザ装置技術開発

残念ながら本研究期間中には基本的な動作確認を行うことが出来なかった。

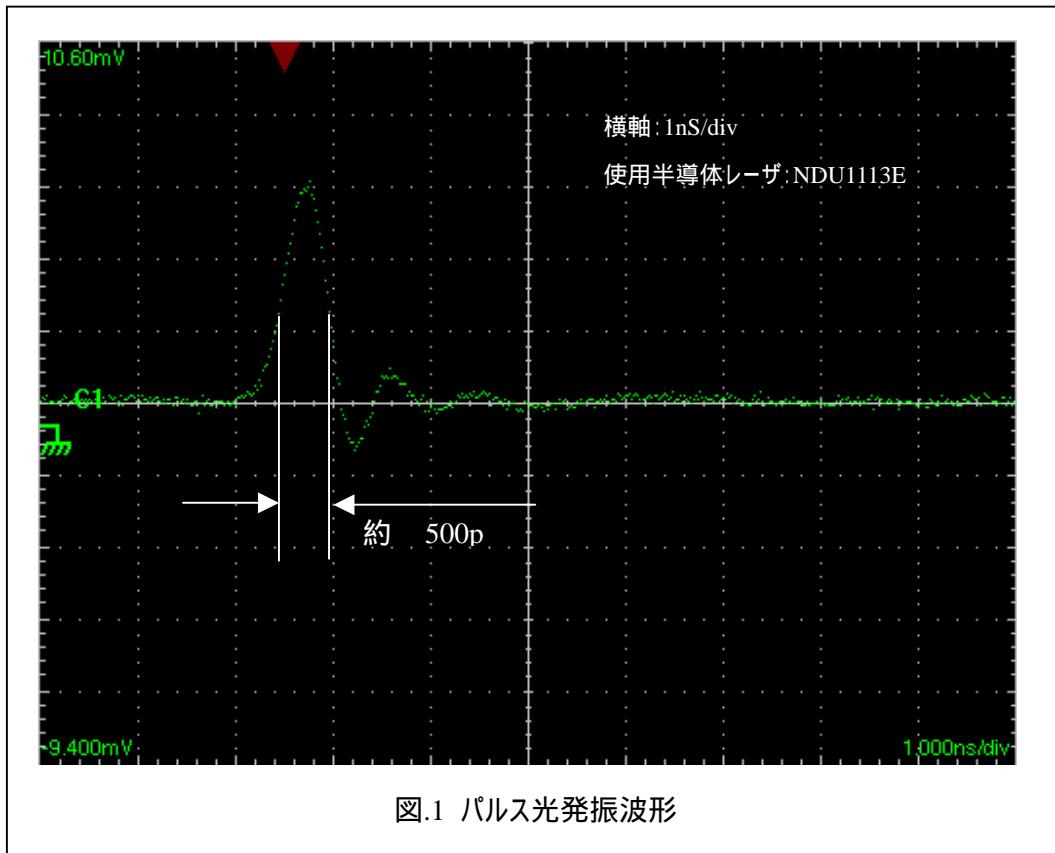
### 2-2-4. まとめ

方式(a)である“DC ~ 1GHz 帯域までパルス幅連続可変可能汎用半導体レーザ装置開発”にて当初目標として掲げた仕様 パルス幅 1 ナノ秒以下(半値全幅にて)及び繰り返し周波数 1MHz を達成した。観測された波形を図.1 に示す。図.1 によりパルス幅半値幅:約 500p 秒 立ち上がり時間約 100p 秒の結果を得られることが確認された。

発光パルス幅を可変(幅を広くしたもの)したものの例を図.2 に示す。この様に本方式は、入力する電気パルスに同調して発光パルス幅を DC から約 1GHz まで連続的に可変することが可能であることも確認できた。

また、本開発に使用した半導体レーザの構成材料と異なる材料にて製造されている半導体レーザにも利用が可能か確認した結果を図.3 に示す。図.3 に示した通り、異なる材料により製造された半導体レーザにおいても開発された回路は利用できることが確認され、開発された技術は汎用的に利用できることが確認できた。

本技術の問題点として、パルス幅を制御するパルス波形の形状(立ち上がりと立下りの形状)に依存するがある。本開発にあたっては、立ち上がりが 50 ~ 60p 秒のパルス波形発生装置を用いたが開発に使用した装置は高価である。このため実用化(事業化)するためには、本開発で使用したパルス波形発生装置と同等の性能を有するパルス波形発生装置を安価で製造する必要があると考える。本問題に関しては引き続き開発を行い、解決したいと考える。また、利得スイッチ法による汎用半導体レーザ装置技術開発も引き続き行いたいと考える。



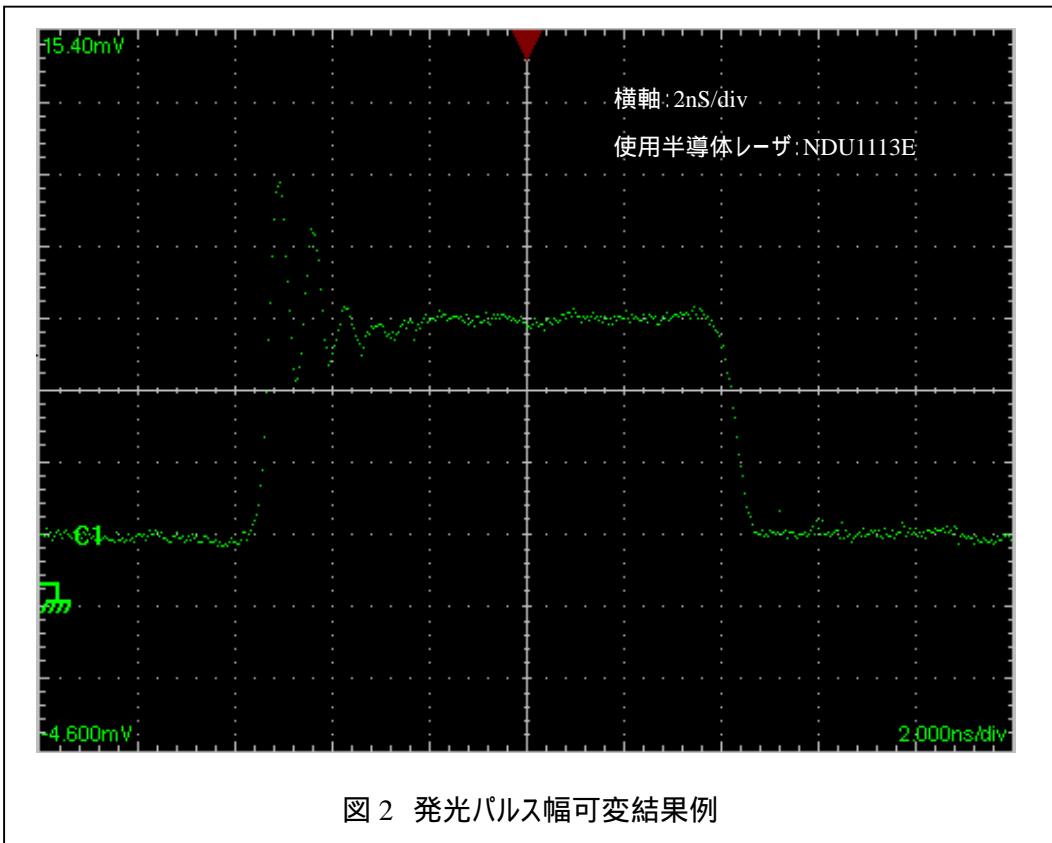


図 2 発光パルス幅可変結果例

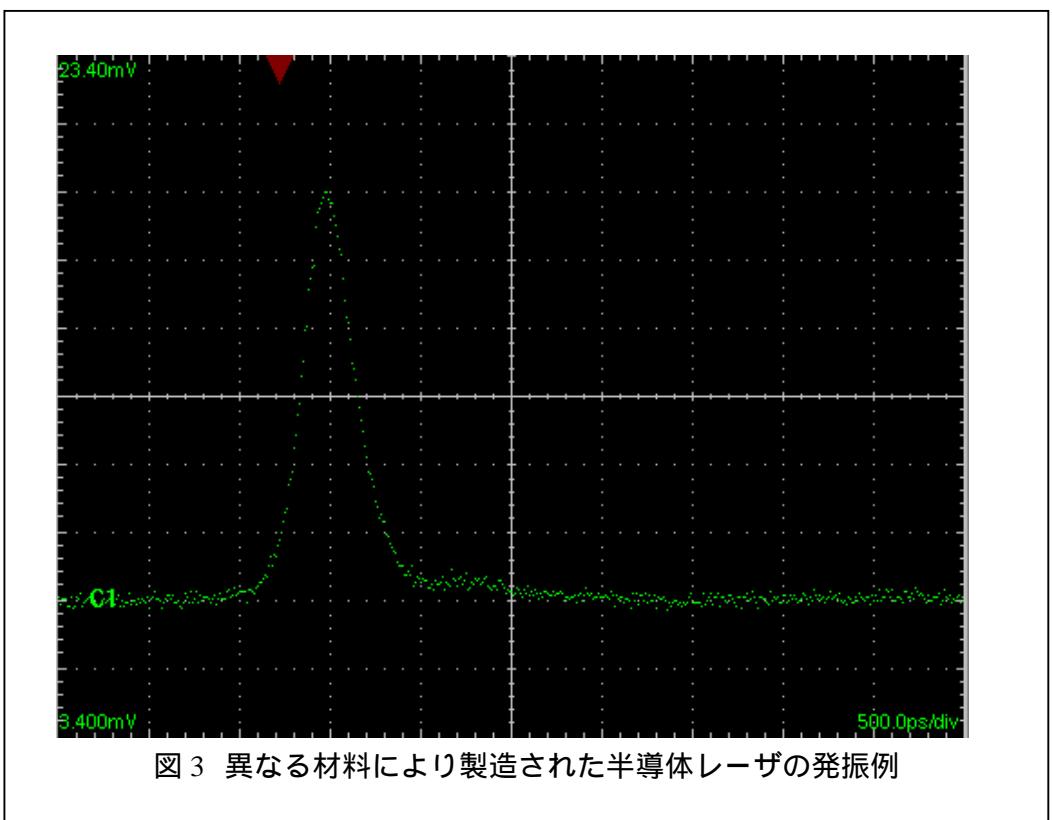


図 3 異なる材料により製造された半導体レーザの発振例

## 2-3. レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立

### 2-3-1. 本テーマの目的

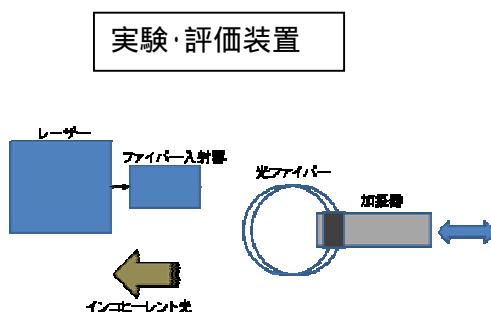
レーザ光を計測分野に応用する際に、ア)良好な収束性、イ)大きなエネルギー密度、ウ)強い干渉性等の性質が積極的に利用される。本研究でもレーザ光を用いて、磁気光学効果により空間分解能 $1\mu\text{m}$ オーダの磁区観察と局所磁化過程検出のためのプローブに用いることから、ア)、イ)は利点となるが、一方でウ)の強い干渉性はさまざまな問題を引き起こす原因となる。たとえば、レーザ光が偏光プリズムや波長板等の光学素子を通過する際に、表面反射と裏面反射が干渉する、あるいは検出対象の端部、境界で発生する回折光が干渉すること等がしばしば起こるが、これらは検出信号に対する雑音の原因となる。また、観察対象の表面が荒れている場合、反射光が散乱し、この散乱光による干渉でスペックルノイズ(砂粒を撒き散らしたようなパターンのノイズ)が発生し、これも検出信号に対する雑音の原因となる。そこで本研究では、上記ア)、イ)の利点をできるだけ損なわずに、ウ)の可干渉性を抑制する手段方法について研究すること目的とする。

### 2-3-2. 研究の内容

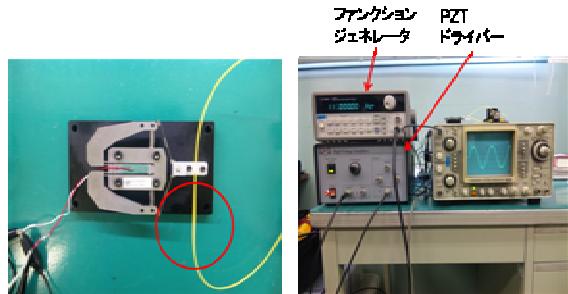
これまでに、レーザ光のインコヒーレント化の手段として、1)透明ないしは半透明な媒質中を通過するレーザ光に対して、媒質の光学的特性(屈折率、複屈折率等)を変化させたときに生じる光の特性の時間的变化を応用する方法や、2)レーザ発振器の電源に高周波電流を重畳して発振条件を時間的に変化させて光の特性に時間的变化を与える方法等が提案されてきた。今回は1)の手段によるインコヒーレント化の試みに対して実験装置を構築してその効果を評価した。

#### 実験1:

光ファイバーの様な透明な媒質中を通過するレーザ光に対して、媒質に機械的な応力や振動等を加えて、屈折率などその光学的性質を変化させることにより、結果として光の特性を時間とともに変化させる



## ファイバー加振(加歪)装置



振動により光ファイバーに  
定在波が生じている

振動周波数: 110Hz  
PZT駆動電圧: 90V

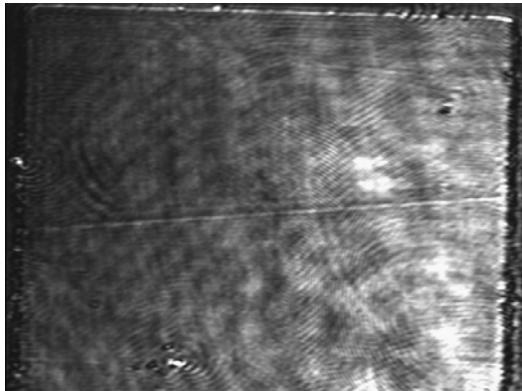


### 実験2:

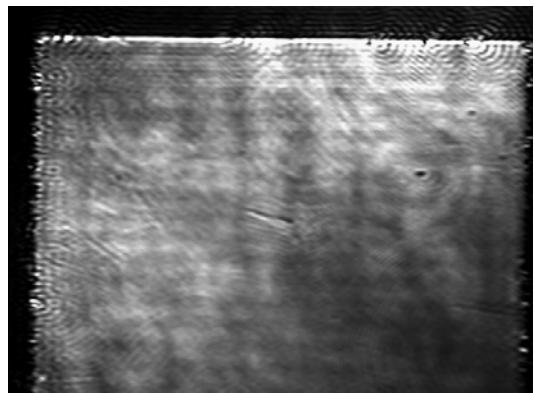
透明または半透明な樹脂はその部位ごとに屈折率など光学的な性質が分散しているので、このような樹脂による回転円板を作成してレーザ光を通過させることにより、結果として光の可干渉性を時間的空間的に変化させる事が可能である。また、樹脂の表面に凹凸がある場合はさらに光の可干渉性を変化させることが可能である。

社内にある磁区観察装置に CW 動作のレーザ光源と樹脂による回転円板組み合わせることによりパーマロイ薄膜パターンを観察することにより評価を行った。

3 種類の樹脂製回転円盤をテストした結果、比較的表面の凹凸が少ない樹脂製回転円盤で干渉性を抑制可能なことがわかった。



樹脂製回転円盤なし  
細かな干渉縞が多数発生している

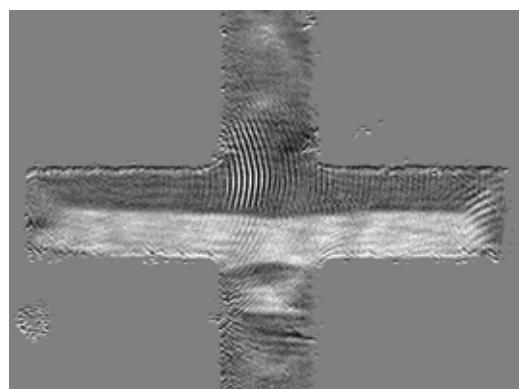


樹脂製回転円盤あり  
太い干渉縞は残っているが細かな干渉縞は抑制されている

次に、最も干渉性を抑制可能な樹脂製回転円盤について実際の磁区観察を行いながら光学配置等の最適化を行った。磁区観察はパーマロイ薄膜パターンに飽和磁界を印加した飽和像とゼロ磁界での画像の差分を取ることにより磁区像を強調した状態で行った。その結果、最適化を行うことにより磁区観察を行うに十分な干渉性の抑制を実現可能などを確認した。



磁区観察結果(条件 A)  
干渉性は抑制されているがコントラストが低い



磁区観察結果(条件 B)  
コントラストが高いが干渉性の抑制が不十分



磁区観察結果(条件C)

コントラストが高く干渉性も抑制されている

今回の実験の最適状態

### 2-3-3. まとめ

1. 光ファイバーの様な透明な媒質中を通過するレーザ光に対して、媒質に機械的な応力や振動等を加えて、屈折率などその光学的性質を変化させることにより、結果として光の特性を時間とともに変化させる実験1.では、ファイバーを振動させたことによりレーザ光のパターン内部の輝度ムラが抑制されている状態が確認できたが、磁気光学効果の光源について評価するまでには至らなかった。
2. 樹脂製回転円盤による干渉性の抑制は十分な効果があることを確認できた。  
樹脂製回転円盤による干渉性の抑制は光学的な配置や回転条件、樹脂そのものの材質や表面状態に依存することがわかった。  
今後、材質や形状等を変更して実験を行うことにより、さらに最適化を図る。
3. レーザ発振器の電源に高周波電流を重畠して発振条件を時間的に変化させて、光の特性に時間的变化を与える2)の方法は実験にまで至らなかった。

## 2-4. 汎用型電磁環境・磁化過程可視装置製作の実験試作機のシステム化の構想

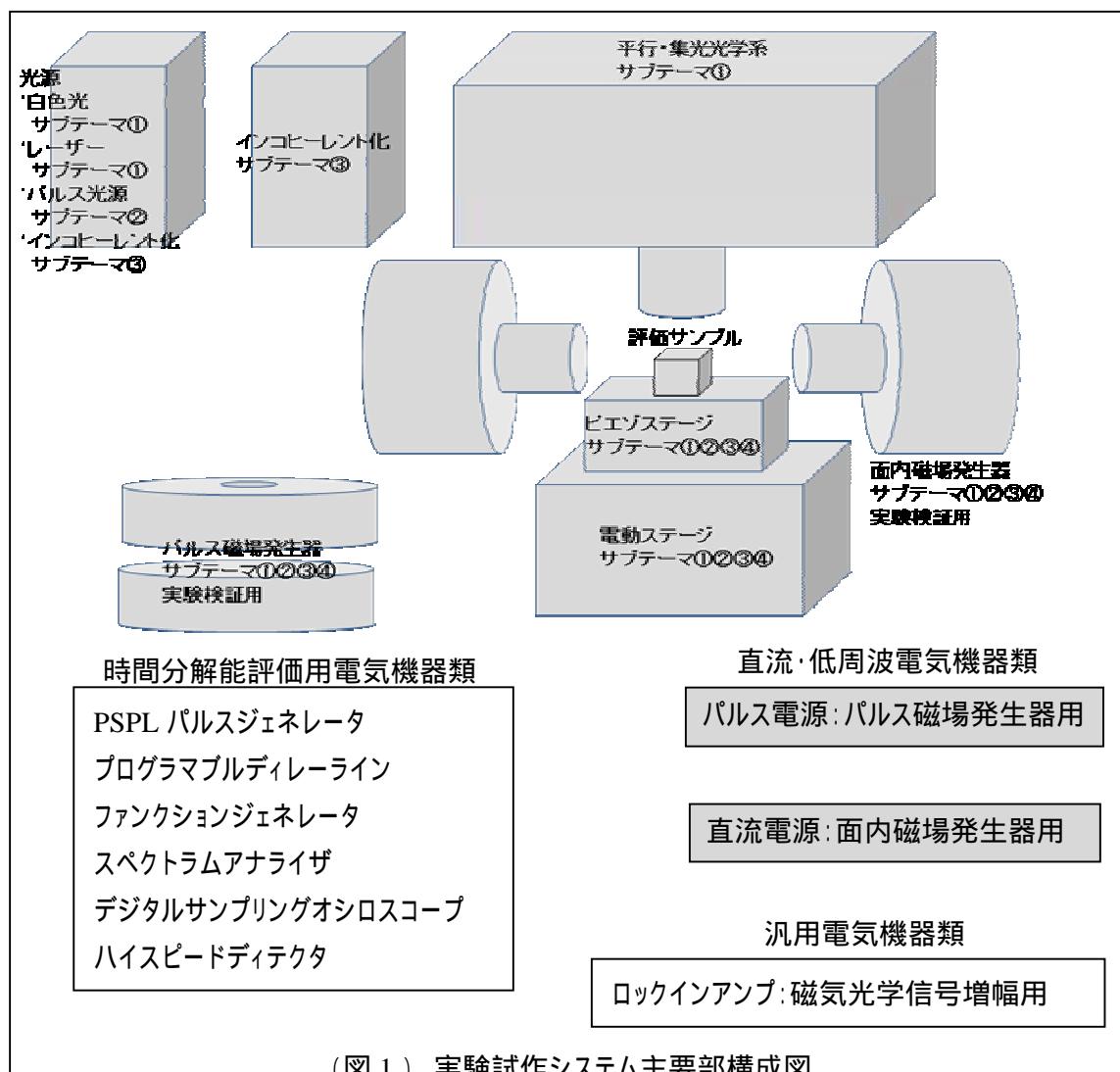
### 2-4-1. 本テーマの目的

本テーマの目的は、以下のサブテーマの研究成果を視野に收めつつ、局所領域・空間における漏れ磁界の動的挙動を可視化するための汎用型の電磁環境・磁化過程可視化実験試作システムを構想することである。本テーマの構想を具体化することは最終的には、小型電動器・トランス・インダクタ・高感度磁気センサ等、完成形状のデバイスの、実動周波数での局所領域・空間における漏れ磁界・磁化の動的挙動を可視化する技術の確立に直結する。

- \* サブテーマ の平行光学系(磁区観察:白色光)と集光光学系(局所磁化過程検出:レーザ光)との両立
- \* サブテーマ の汎用半導体レーザの短パルス光発振技術の開発
- \* サブテーマ の観察エリア内のスペックルノイズを抑制するためのレーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立

### 2-4-2. 研究の内容

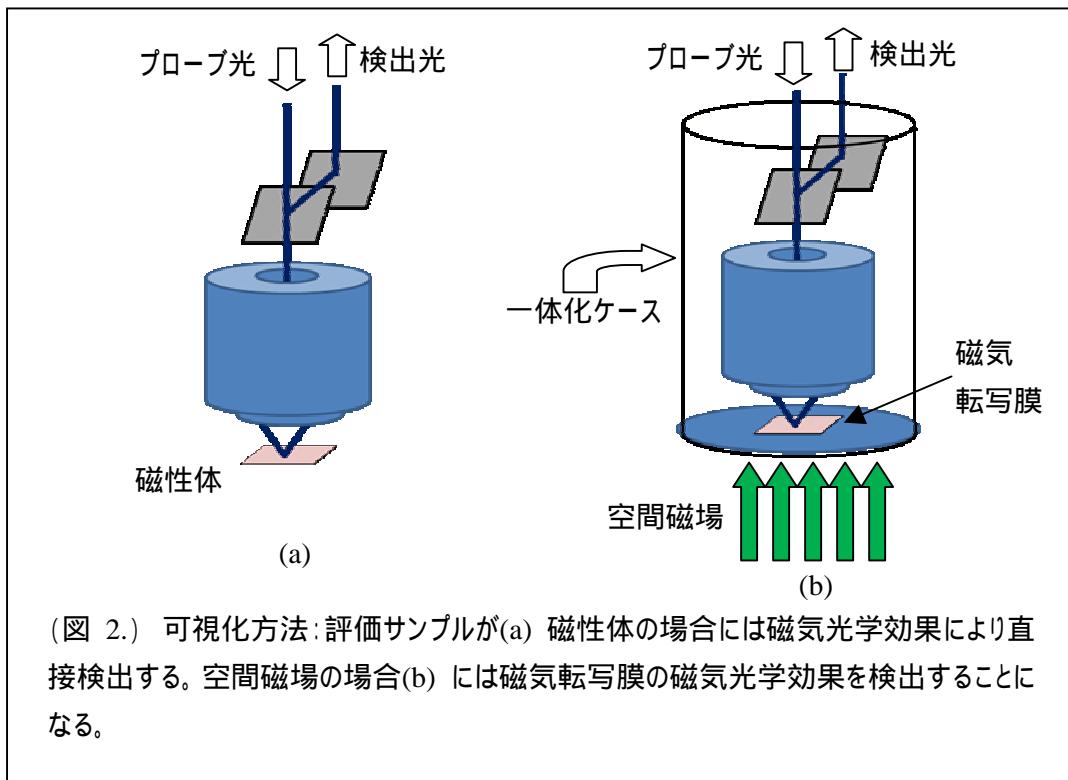
#### 電磁環境・磁化過程可視化装置実験機の構想



(図 1.)に構想した実験試作システムの主要部構成図を示す。システムでは、「可視光をプローブとした磁気光学効果」を発展させ、磁区観察技術および、局所磁化過程検出技術の改善を図るとともに、これらの光学系の両立を図る。まず、サブテーマ の研究成果を視野に入れた磁区観察に好適な白色光を用いた平行光学系と、局所磁化過程検出に好適なレーザ光を用いた集光光学系による光源部と、本来は相反すると考えられている平行光学系と集光光学系を両立可能な系を採用することとする。さらに、動的磁化・磁場検出・可視化への取り組みとして、サブテーマ の研究成果を視野に入れた短パルス光発振汎用半導体レーザを採用することとする。その際に問題となることが予測される、レーザ光源のスペックルノイズの抑制にはサブテーマ の研究成果を視野に入れたレーザ光のインコヒーレント化技術を導入することとする。システムの機能・性能を検証・評価するために、局所領域・空間磁場発生器として面内方向に磁場を発生させる機器と、動的漏れ磁界を発生させる機器とを設計して採用することとする。また、評価サンプルを装着する部分にはピエゾステージを用いて高空間分解能な検出を行う際のサンプルの移動、位置決め等を行うこととする。

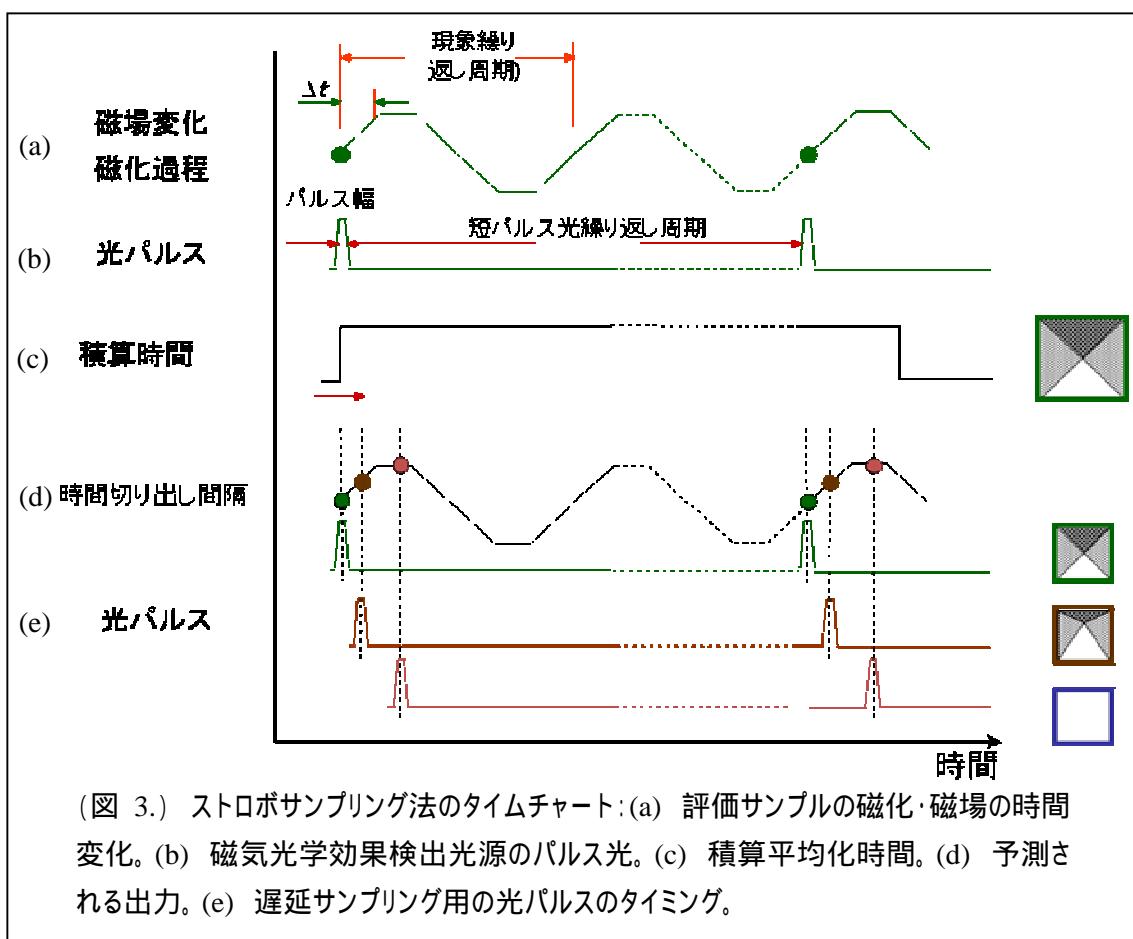
システムを用いて実際の評価サンプルからの局所領域・空間磁場を検出するために以下の2通りの方法を構想した。一つは、図 2.(a)に示されるように評価サンプルが磁性体であるならば、その磁気光学効果により表面の磁区や磁化過程を直接検出する。

いま一つの想定として、図 2.(b)に示されるように電気・電子デバイスの様な評価サンプルの、実働状態において内部に流れている電流により空間に漏れ出している磁場を検出することを想定して、漏れ出ている磁場をガーネット等のファラデー材料に転写して磁気光学効果を生ぜしめることにより空間磁場の可視化を行う。



システムによる動的磁場検出には、超高速パルス発生器をはじめとする高周波電気機器類を用いることとする。検出例として想定したのは、実働状態の電気・電子・磁気デバイスを模してストリップラインに高周波電流を流した際に発生する動的空間磁場を可視化することである。そのために、サブテーマ の研究成果を応用した、汎用半導体レーザの短パルス光発振器を光源に用いたストロボサンプリング法を用いることとする。この方法により、評価サンプル、あるいは磁気転写膜の磁区構造・磁化過程が時間とともに変化する状態を、磁気光学効果の検出プローブ光に短パルス光を用いて極短時間だけ切り出して可視化することができる。

(図 3.) ストロボサンプリング法のタイムチャート:(a)の様に時間変化する評価サンプルの瞬時における磁気光学効果を短パルス光(b)を光源に用いて検出する。一回の検出では信号量が微少であることが予測されるから(c)のように積算時間を設けて複数回の信号を平均化することで SN 比を改善する。光パルスのタイミングを(e)のように遅延させてゆくと一定時間後には評価サンプルの磁化過程が正確に再現される。右のパターンは薄膜磁性体の磁区構造を可視化した状態の予想図である。



### 2-4-3. まとめ

サブテーマ 「汎用型電磁環境・磁化過程可視装置製作の実験試作機のシステム化の構想」を、ほぼ計画通りに完了した。

実験試作機を構築するために必要な電子・電気機器類等を、予定通り本事業実施において申請した予算を使って購入して、これらの組み合わせによるシステム化に備えた。

実験試作機に必要な直流面内磁場発生器、パルス面直(極)磁場発生器をそれぞれ設計して、試作に必要な部品の一部を予定通り本事業実施において申請した予算を使って購入して、これらの組上げ品をシステムに導入することに備えた。

## 第3章 全体統括

本研究開発において、当初目標に掲げた研究開発項目について、ほぼ目標を達成することが出来た。以下に研究開発項目当初目標、達成度合いを記す。

**平行光学系(磁区観察:白色光)と集光光学系(局所磁化過程検出:レーザ光)との両立技術の予備調査及び実験機の設計及び1部試作**

レーザ光による磁区観察用平行光学系と局所磁化過程検出用集光光学系の両立を実現するための光学設計が出来た。また設計した光学系に必要な構成部品の1部試作及び評価を行った。

**汎用半導体レーザの短パルス光発振技術開発における一部設計及び試作**

短パルス発振回路設計を行い発生回路の試作及び評価を行った。結果として目標としたパルス幅及び繰り返し周波数に関しては達成することが出来た。

**レーザ光のインコヒーレント化による平行光学系の確立の一部試作。実観察エリア内のスペックルノイズ抑制状態の検証・評価**

2つ手法にてスペックルノイズの抑制効果を比較したところ、干渉性に関しては2手法とも有用であることを確認することが出来た。

今後実際の装置に使用して評価を行う必要がある。

**汎用型電磁環境・磁化過程可視化装置製作の実験試作機のシステム化を構想**

「汎用型電磁環境・磁化過程可視装置製作用実験試作機のシステム化構想」を、ほぼ計画通りに完了した。

実験試作機を構築するために必要な電子・電気機器類等を、予定通り本事業実施において申請した予算を使って購入して、これらの組み合わせによるシステム化に備えた。