

独立行政法人**科学技術振興機構**

**創造科学技術推進事業**

**第二次追跡調査報告書**

**外村位相情報プロジェクト(1989～1994)**

**総括責任者 外村 彰**

**2005年3月報告**

## 外村位相情報プロジェクト追跡調査報告書要旨

1947年 Gabor によって電子顕微鏡の分解能向上を目的に提案されたホログラフィ技術は光の分野で発展した。電子顕微鏡の分野で停滞したのは電子顕微鏡には光の分野でのレーザーに対応する高輝度でコヒーレンスの良い電子線源がなかったためであった。1970年代後半、本プロジェクトリーダーらの努力により電界放射型の電子線源と、電子線の干渉を利用できる装置が開発され、ホログラフィを代表とする電子線干渉技術開発の環境が整った。本プロジェクトはこのような時代背景の下、電子線干渉計測の高度化、汎用性の向上を果たし、極限的な計測技術へと発展させることを目的に1989年に開始された。

研究内容は、電子干渉計測のリアルタイムの観察を可能にし、動的観察を可能にする、位相検出の精度の向上を図り、原子1層が検出できる精度  $1/100$  波長の計測精度を実現する、電子線ホログラフィによって、電子レンズの収差を補正し、像の分解能を高める、電子干渉法を応用して、磁場の分布の観察、生体の観察等への有用性を明らかにする、電子干渉の理論的予測であるアンチバンチング効果を実証する、等多岐にわたった。

その成果は以下の通りである。(1)液晶パネルを介して、電子顕微鏡によるホログラム作成とレーザー光学像再生系を結合し、画像や位相分布像をTVレート( $1/30$ 秒)の時間分解能で観察する方法を確立した。(2)縞走査法により電子波の波長の  $1/2000$  の高精度化を実現し、微粒子、カーボンナノチューブ等の観察計測を行った。(3)電子線ホログラフィを用いて、収差を補正する方法に理論的な検討を加えて、方法論を確立し、結晶構造像の観察に適用し、元の電子顕微鏡を越える分解能を達成した。(4)磁性体微粒子や薄膜を試料として磁力線や磁化分布の計測を行った。生体物質の観察にも適用した。(5)超高速の電子検出器と関連計測装置を開発し、可干渉電子揺らぎを計測した結果、電子光学系の条件によって、バンチング、アンチバンチングが系統的に検出された。この結果に対する理論的な説明はできなかった。未知の干渉効果の可能性もあるが、最終的なアンチバンチングの検証には至らなかった。(6)CT技術を使った三次元電磁場の再構成技術やバイプリズムを使わないインラインホログラフ技術の開発を行った。

本プロジェクトの成果は、高温超伝導研究プロジェクト(1997-2001年度)における、高温超伝導体の磁束量子直接観測と100万ボルトの高分解能、高輝度のホログラフィ電子顕微鏡の開発に繋がった。また、本プロジェクトに相前後した各社におけるホログラフィ電子顕微鏡の製品化により次第に世界に本技術が広がっていった。

国内では、本プロジェクトのメンバーを中心に名古屋大学と日本ファインセラミックセンターに拠点ができ、さらにナノヘテロ材料プロジェクトにおける、磁性材料評価技術として東北大学へと広がっている。三重大学でも電子線ホログラフィの研究が行われている。理研では本プロジェクトリーダー

ーをリーダーとする量子現象観測チームにより、電子波干渉計測技術の改良、開発や電子波干渉計測法による磁性材料ほかの観測をテーマに活動中である。ファインセラミックセンターでは半導体中のPN接合の内部電位二次元分布を電子線ホログラフィによって測定し、注目されている。

世界では本プロジェクトやドイツのリヒテグループの成果を基に、各種材料の評価に応用が広がっている。磁性体材料はもちろんのこと、強誘電材料や半導体材料など数十の研究機関、大学、民間の研究所で電子線ホログラフィが使われている。

直接的な産業への貢献はまだないが、我が国が電子顕微鏡で60%以上のシェアを持つ国であることを考えると、本プロジェクトにより電子線ホログラフィが普及してきたことは間接的にビジネスチャンスを広げたことになろう。

以上

1.はじめに.....	1
2.プロジェクト研究終了後の科学技術を取りまく環境の変化.....	2
3.研究の継続性とその後の展開.....	2
3.1. プロジェクト終了時の達成状況.....	2
3.2. プロジェクトの課題の現状.....	3
3.3. 研究のその後の展開.....	4
3.4. 科学技術へのインパクト.....	8
4.研究成果の産業波及効果とインパクト.....	8
4.1. 産業的波及効果.....	8
5.参加研究者の活動状況.....	9
5.1. プロジェクトから育った人材の状況.....	9
5.2. 学位取得.....	10
5.3. 表彰等（1999~ 2004年）.....	10
6.創造科学技術推進事業に関する意見.....	10
6.1. 事業の意義.....	10
6.2. 仕組み、運営面に関する提言.....	10
7.アンケート結果.....	12
8.統計資料.....	14

## 1.はじめに

電子顕微鏡は電子線の透過や反射の強度を映像化する顕微鏡であり、電子線の波長が短いために微細組織の高分解・高倍率解析に不可欠な手段になっている。光学顕微鏡が光を使うのに対して、電子顕微鏡は電子線を使うが、両者の技術は対比して論じられる。両者の大きな違いは、光が強度だけでなく位相情報を利用した技術が存在するのに、電子顕微鏡では位相情報の利用が遅れていた。その理由は、電子線にはレーザーのような、コヒーレンスの良い電子線源がなかったことにある。

本プロジェクトリーダーは一貫して電子顕微鏡の技術開発に従事してきたが、中でも干渉性に優れ、電子線強度の大きい電界放出型の線源(FEI)と、その電子線源を使ったホログラフィ電子顕微鏡装置 HF-2000 は画期的であった。その装置の応用から生まれた主な成果には、電子線の量子力学的干渉現象を見事に表現した電子線の二重スリット実験(歴史的にも世界で最も見事な実験と評価された(英国 Physics World 誌))や、また、長年その正当性が議論され、決着が付かなかったアハラノフ - ボーム効果を1986年に完全に証明した成果等がある。

外村位相情報プロジェクトは、電子線位相情報の利用技術として、電子線干渉技術、電子線ホログラフィ技術を極限まで押し進め、その応用の可能性までも追求することを目標として、1989年発足し、1994年に終了した。その間、研究員14名が基本特性グループ、画像解析グループ、計測観察グループの3グループに分かれて活動した。具体的にはリアルタイムホログラフィ処理法、電子線ホログラフィCTによる電磁場の三次元計測法、電子干渉の汎用性向上、位相シフト法による高精度位相計測、ホログラフィ技術による電子レンズ収差の補正、超高速電子計数の基礎技術等を推進した。

本プロジェクトの終了後も、干渉性の良い電子線や電子線ホログラフィの開発はさらに進められ、これまで観察できなかった高温超伝導体中の磁束量子の特異な振る舞い、とりわけピン留め現象の直接観察に威力を発揮している。さらに現在、磁性体の磁束の直接観察法は、半導体内部電位の二次元分布の測定手段として応用されている。

プロジェクト発足当時、高性能ホログラフィ電子顕微鏡装置は本プロジェクトリーダーが所属する日立製作所とドイツのチュービンゲン大学のみが存在した。本プロジェクト終了から10年、電子線ホログラフィ測定が可能な装置が各社から市販されている。価格が高価で広く普及しているとは言い難いが、着実に使える環境が整えられつつある。ホログラフィ電子顕微鏡のみならず、電子顕微鏡の性能は日本が先頭を走っており、製品シェア率も世界の60%以上を占めている。電子顕微鏡技術は現在も、世界各国から注目されている。

## 2. プロジェクト研究終了後の科学技術をとりにくく環境の変化

現在、ナノテクノロジーが注目され、カーボンナノチューブなど具体的な成果が出つつある。このような背景から電子顕微鏡は益々重要な手段となっている。さらに電子顕微鏡以外の走査トンネル顕微鏡 (STM) ,原子間力顕微鏡 (AFM) ,共焦点レーザー顕微鏡 ,近接場光顕微鏡 (SNOM) ,X線顕微鏡などが開発された。この状況に対応して旧日本電子顕微鏡学会が平成 15 年 6 月に改名し、日本顕微鏡学会 (JSM) となった。

電子顕微鏡の位相情報技術の重要な応用である磁気材料の分野では、高温超伝導材料の研究と実用化が進んでいる。またハードディスクの高密度化が著しく、磁気材料の開発が活発であり磁束の直接観察が可能な本方法が重要な評価手段となっている。また、最近では半導体分野での高密度化の進展も著しく、半導体材料内での電界分布測定などの技術としての応用が提案され、活発に研究されるようになった。

現在までに、透過型電子顕微鏡の製品の中に、電子線干渉を可能にする装置をオプションとして搭載する機種が各社で開発されている(日本電子の JEM-2010F など)。

## 3. 研究の継続性とその後の展開

### 3.1. プロジェクト終了時の達成状況

大きなねらい 電子線干渉の高度化、汎用性の向上を果たし、極限的な計測技術へ発展させること。具体的には以下に示すいくつかの手法を開発した。

#### 3.1.1. 電子線干渉計測のリアルタイムの観察を可能にし、動的観察を可能にする

**成果** 電子線干渉により得られた干渉縞の像を物体像に変換するためには、記録された干渉縞像を使って、光学的手段による参照光を照射する方法や計算によって物体像を得る手法などがある。本プロジェクトでは液晶パネルを介して、電子顕微鏡によるホログラム作成とレーザー光学像再生系を結合し、画像や位相分布像をTVレート(1/30秒)の時間分解能で観察する方法を確立した。

#### 3.1.2. 位相検出精度の向上を図り、原子 1層が検出できる精度 1/100波長の計測精度を実現する。

**成果** 縞走査法により電子波波長の 1/200の高精度化を実現し、微粒子、カーボンナノチューブ

ブ等の観察・計測を行った。縞走査法とは電子線をわずかに傾けながら、複数の干渉縞画面を測定し画面間の干渉縞の差異を測定することにより高精度の位相検出を可能にするものである。

3.1.3. 電子線ホログラフィによって、電子レンズの収差を補正し、像の分解能を高めること

**成果** 電子線ホログラフィで記録された干渉像を物体像に変換する際、電子レンズの収差を補償するアイデアは、そもそもホログラフィを始めて考案した Gavor の目的であった。まさにホログラフィの原点に戻って、電子線ホログラフィによる収差補正技術を検討した。理論的な検討を加え、方法論を確立した。さらに結晶構造像の観察に適用し、元の電子顕微鏡を越える分解能を達成した。

3.1.4. 電子線干渉法を応用して、磁場の分布の観察、生体の観察等への有用性を明らかにすること

**成果** 電子線干渉法で磁場分布を観察できることは良く知られていた。しかし、実際にどのように試料を準備し、どのように観察し、意義があるかを実証しようとした。磁性体微粒子や薄膜を試料として、磁力線や磁化分布の計測を行った。生体物質の観察にも適用した。

3.1.5. 電子干渉の理論的予測であるアンチバンチング効果を実証すること

**成果** 電子はフェルミ統計に従うため、スピンを無視して考えると、同じ場所、同じ時刻に、同じエネルギーを占めることはできない。このため同じ時刻、同じ場所に入射する電子線の相関を統計的に解析することによって、理論的予測であるアンチバンチング効果を実証することができる。このために必要な超高速の電子検出器と相関計測装置を開発し、可干渉電子揺らぎを計測した。その結果、電子光学系の条件によって、バンチング、アンチバンチングの両方が系統的に検出された。この結果に対する理論的な説明はできなかった。未知の干渉効果の可能性もあるが、最終的なアンチバンチングの検証には至らなかった。

3.1.6. その他、三次元の電磁場計測法やインコヒーレントホログラフィ等の開発を行った。

## 3.2. プロジェクトの課題の現状

本プロジェクトの開始当時から、磁界が直接観測できることから、磁性材料分野への応用が期待されていた。本プロジェクトでも微小材料や単磁区からの磁界分布の観察等を行って注目された。現在、磁気記録の高密度化等の目的から磁性材料開発が活発に行われている。磁束を直接観察

でき、さらに微細な磁区や微小磁性粒子の評価手段として、ホログラフ電子顕微鏡が用いられている。また高温超伝導体において磁束量子の振る舞いは本質的な現象である。ホログラフ電子顕微鏡は磁束量子を含めて電磁界を直接観察できる。このことを利用して、CRESTO プロジェクト(極限環境状態における現象)において超高圧電子顕微鏡と電子線干渉技術により高温超伝導体のピン留め動作の研究が行われた。さらにナノヘテロ材料の研究において、東北大学では材料評価の手法として、電子線ホログラフを使用した。

また、半導体の微細化が進むにつれて、微小部分の不純物原子の分布状況が大きな関心になっている。従来の二次イオン質量分析法(SIMS:イオンを衝突させ表面から飛び出す不純物原子の量を測定する方法)ではPN接合の二次元分布までは測定できない。ホログラフ電子顕微鏡はPN接合部分の二次元電界分布を電子線干渉技術で測定することができ、これから不純物の二次元分布を知ることができる。この測定は他の手段ではできないため、大きな応用分野になる可能性を秘めている。

電子顕微鏡の技術及び製品は日本が世界をリードしてきた分野であり、現在でも世界の60%のシェアを維持している。さらに、現在最も注目されている技術の一つであるナノテクノロジーは、顕微鏡の目が不可欠であることは言うまでもない。近年原子間トンネル顕微鏡(STM)や原子間力顕微鏡(ATM)などの新技術が現れてきて、原子のオーダーを見る手段が多様化した。一方、電子顕微鏡技術は進歩の歩みが鈍化している。例えば分解能は、電磁レンズの非点収差が障害になって理論的分解能の限界にまだ遠く及ばない。また、真空中で扱う限界、すなわち、生物試料を生きたまま観察することができない、水分が蒸発してしまう等や、透過型顕微鏡では試料の厚さを薄くしなければならず、試料準備に高い技術が必要などの限界が打破できないでいる。その中で位相情報を利用するホログラフ電子顕微鏡は直接電界・磁界分布が観察できる重要な技術であり、今後モノ技術の進展に欠かせない計測手段として発展して行くであろう。

### 3.3. 研究のその後の展開

本プロジェクトには基礎研究的な側面と技術開発的な側面がある。技術的には、輝度の高い電子線源や安定して測定できるハードウェアの開発が欠かせない。本研究もこのようなハード技術の進展があり発足した。発足当時は限られた装置(日本とドイツ)でしか実現できなかったが電子線干渉の研究が進展し、その有用性が明らかになるにつれて、装置製品化の拡大へと結びついた。

さらに、本プロジェクトの成果を発展させ、本プロジェクトリーダーによって電子線干渉技術を用いた高温超伝導体の磁場観察に発展した(CREST:極限環境状態における現象)。高温超伝導体材料はそのメカニズムが不明で、解明が期待されていた。電子線干渉技術は、磁場が直接見えること

を使って、高温超伝導のピン留め現象を明らかにし、メカニズム解明に大きな威力を発揮している。

本プロジェクトの研究員であった丹司敬義氏は名古屋大学で、平山司氏はファインセラミックセンター (JFCC と略記) で電子線ホログラフィの研究を続けており 2002 年、2004 年には両氏とも日本顕微鏡学会賞を受賞している。JFCC 平山氏によって行われた半導体のPN接合部分の電界分布を電子線干渉で測定する研究 (顕微鏡学会賞受賞) は本プロジェクトから直接進展した技術であり (本プロジェクトで使われた装置も引き継いだ) 現在半導体業界から注目されている。米国 IBM も注目しており同様の研究を推進している。

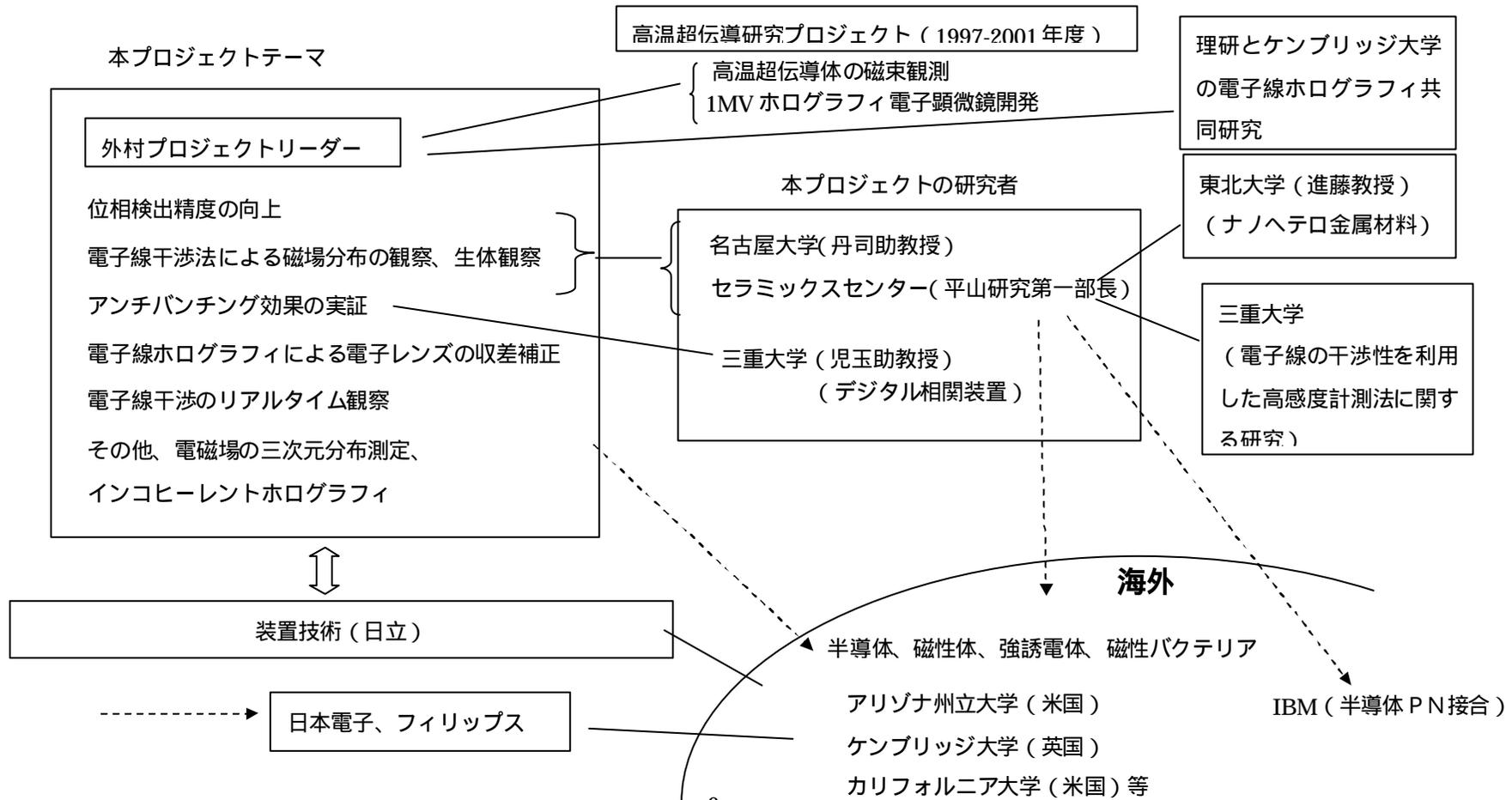
電子線ホログラフィの技術は東北大学 (進道教授) へと広がり、磁性体の微粒子の評価に使われている。三重大学でも名古屋大学、JFCC と交流しながら電子線ホログラフィの研究を行っている。また理化学研究所では本プロジェクトのリーダーの外村氏をリーダーとする電子線ホログラフィ研究チームができ、英国ケンブリッジ大学との共同研究が行われている。

海外での本技術関連の活動は物性評価、特に半導体のドーパント分布や電界分布の研究やナノサイズの強磁性体、強誘電体のドメイン構造の研究を中心に各国大学、研究所で研究が行われている。例えば、半導体デバイス (トランジスタ FET、窒化ガリウム等のデバイス) についてドレスデン大学 (ドイツ)、マックスプランク研究所 (ドイツ)、ケンブリッジ大学 (英国)、プリストル大学 (英国)、アリゾナ州立大学 (米国)、テネシー大学 (米国) 等多くの大学で研究が行われている。磁性体材料ではナノサイズの粒子やワイア、薄膜形状のコバルトやパーマロイ材料の研究が、スイスの固体材料研究所、ポーロニャ大学 (イタリア)、ケンブリッジ大学 (英国) 等で展開されている。その他の応用として、磁性バクテリアの研究がアリゾナ大学 (米国) で、電界放射用のカーボンナノチューブの電位分布測定がローレンスバークレイ国立研究所 (米国) で、MFM (Magnetic Force Microscopy) のチップ先端の磁界分布がオークリッジ国立研究所 (米国) で研究された。

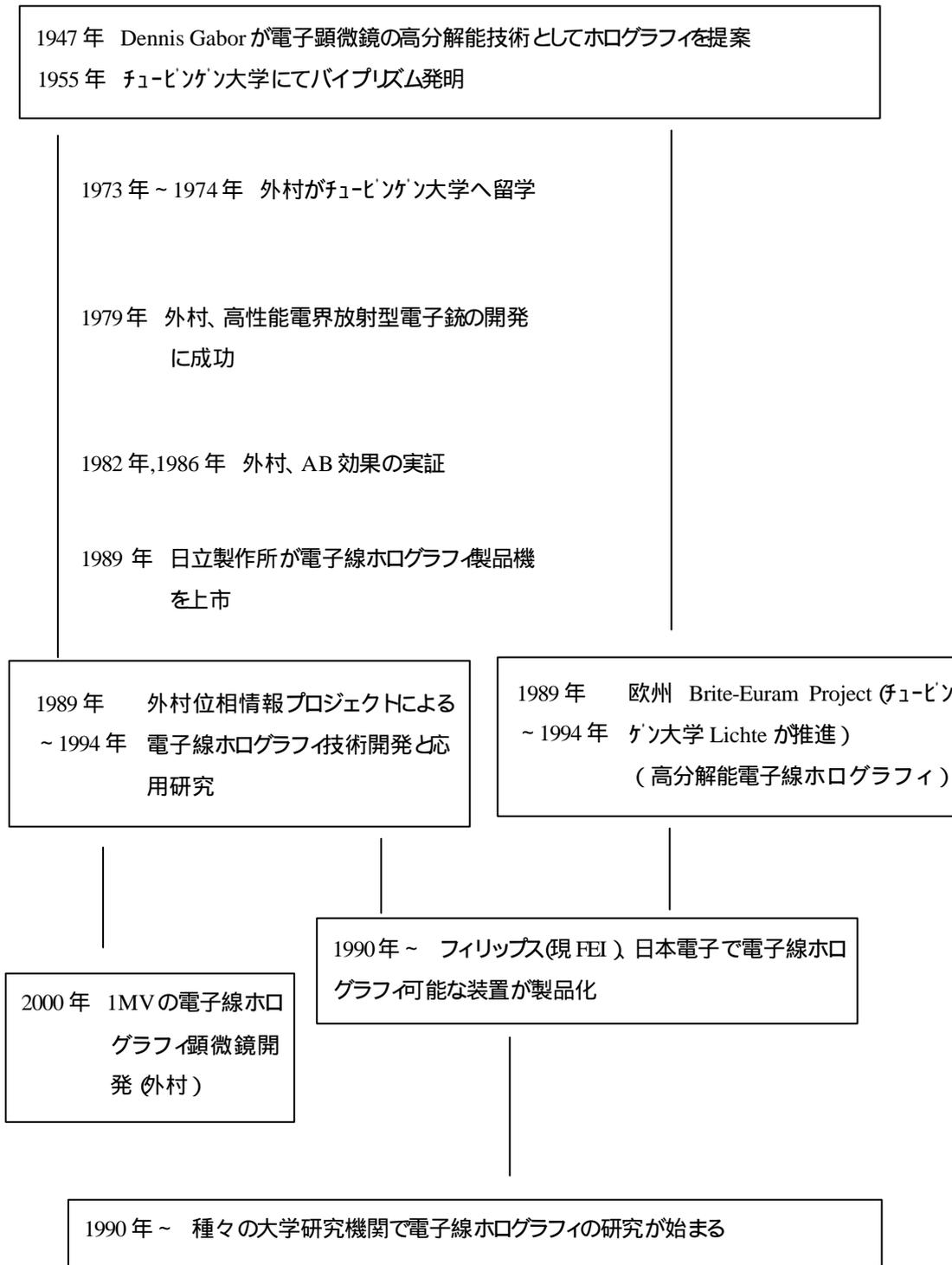
図表 3-1 研究の継続性とその後展開

直接的な影響は実線の矢印

間接的な影響は点線の矢印 -----▶



図表 3-2 電子線ホログラフィ技術発展の流れ (敬称略)



### 3.4. 科学技術へのインパクト

新たに開拓された分野や、新たに創設された分科会等はない。

## 4. 研究成果の産業波及効果とインパクト

### 4.1. 産業的波及効果

電子顕微鏡は高価な評価装置であり、大量生産の対象になるものではない。従って、本プロジェクトの研究成果が直接大きな産業に結びついた例はない。

しかし、研究を推進するための基盤的な装置開発の結果、装置技術が大きく改良された。例えば電子線干渉を起こすための装置の安定性は  $10^{-6}$  のオーダー以下の安定性（電圧、電流ほか）が必要である。電子顕微鏡には高電圧が必要だが、その電圧安定度も同じオーダーの安定性が必要であった。これらの装置技術発展を基に、本プロジェクトの研究成果が実現した。その後も100万ボルトの超高压電子顕微鏡の装置技術に結びつき、我が国が今もなお、電子顕微鏡技術で世界のトップを走っている源には、本プロジェクトでの装置技術の開発、改良も貢献している。

本プロジェクトに関連する具体的な装置を進展、電子線干渉計測が可能な透過型電子顕微鏡が製品化された（日立 型名HF2000）。その後各社から、バイプリズムをオプションとして取り付け可能な製品が上市された（日本電子、フィリップス等）。ただ、これら製品は、まだ専用装置ではなくオプションであり、電子線干渉装置として最高性能とは言えない。なお、電子線干渉の実験ができる装置として、これら装置が広く普及しているとは言えないことも事実である。統計として発表されているわけではないが、ここ1~2年で10台程度が出荷されたとの情報や世界の数十カ所で研究が行われているといった情報が得られた。本プロジェクト発足当時は日本とドイツにしか装置が存在しなかったことを考えると現在は多くの国で研究が行われており、普及が進んでいると言えるであろう。

電子顕微鏡の技術は材料の基礎的な評価、観察を行う技術である。従って、応用分野がどのようになり、その中で本プロジェクトがどのような役割を担ったかを評価することが重要であろう。このような応用分野として、磁性材料の分野がある。磁性体はハードディスク等の記録媒体として広く普及しており、高密度記録への挑戦が続いている。電子線干渉技術は磁界が直接観察できることから、本プロジェクトでも単磁区の観察など応用を広げる試みがなされてきた。現在、東北大学でホログラフ電子顕微鏡を使って磁性体の磁束観察が行われている（ナノヘテロ金属材料プロジェクト）。

半導体業界からの注目は前項で述べた通りである。本技術が半導体内の不純物分布の測定に決定的な役割を持つことが期待される。

今後ナノテク技術が台頭し、その観察・測定にも威力を発揮する可能性がある。

## 5.参加研究者の活動状況

### 5.1.プロジェクトから育った人材の状況

図表 5-1 プロジェクト参加者リスト

グループ	プロジェクト内での役職	氏名	現在の所属	現在所属での役職	参加期間開始	参加期間終了
	統括責任者	外村 彰	(株)日立製作所 基礎研究所	フェロー		
	技術参事	遠藤 潤二	エフケー光学研究所	主任研究員	1992/5	1995/3
基礎特性グループ	グループリーダー	遠藤 潤二	エフケー光学研究所	主任研究員	1989/10	1994/9
	研究員	太田 慶新	(株)マクロフェーズ	社長	1990/2	1994/9
	研究員	長我部 信行	(株)日立製作所 基礎研究所	所長	1992/5	1994/9
	研究員	児玉 哲司	三重大学 工学部 情報工学科	助教授	1991/4	1994/9
	協力研究員	小野 義正	(株)日立製作所 研究開発本部	担当部長	1994/2	1994/9
画像解析グループ	グループリーダー	石塚 和夫	(有)HREM	取締役社長	1989/10	1994/9
	研究員	浦田 研哉	株式会社イメージセンス	代表取締役社長	1990/5	1992/5
	研究員	陳 軍	東京工芸大学 工学部 光情報メディア工学科	助教授	1991/4	1994/3
	研究員	来 関明	静岡大学工学部 電気 電子工学科	助教授	1990/6	1994/3
計測 観察グループ	グループリーダー	丹司 敬義	名古屋大学大学院 工学研究科電子情報システム専攻 (電子工学部門)	助教授 (工学博士)	1990/4	1994/9
	研究員	青山 一弘	日本エフイー アイ(株)	主任技術員	1990/4	1994/9
	研究員	平山 司	(財)ファインセラミックスセンター 材料技術研究所	研究第一部長	1990/12	1994/9
	研究員	松元 隆夫	(株)日立製作所 基礎研究所	研究員	1990/1	1994/9
	研究員	R.A.Herring			1991/4	1994/9

## 5.2.学位取得

プロジェクトの成果により 以下の研究者が学位を取得した。

長我部信行

平山司

青山一弘

太田慶新

## 5.3.表彰等 (1999~ 2004年)

外村彰(プロジェクトリーダー)

1999年 フランクリンメダル

2002年 文化功労賞顕彰

丹司敬義

2002年 日本顕微鏡学会賞(瀬尾賞)

2003年 2003年度日本顕微鏡学会最優秀論文賞

平山司

2002年 学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会 榊賞

2003年 2003年度日本顕微鏡学会最優秀論文賞

2004年 日本顕微鏡学会賞(瀬尾賞)

## 6.創造科学技術推進事業に関する意見

### 6.1.事業の意義

科学技術立国を標榜する我が国にあって、このように国が主導で研究を推進する仕組みを持っていることは意義があるばかりでなく必要であると言う意見が外部有識者の大勢を占めた。研究者の側からもこのようなプロジェクト研究は研究費を潤沢に使えて、自分の時間を目一杯研究に打ち込める機会であったと大変好評であった。

### 6.2.仕組み、運営面に関する提言

リーダーやテーマの選抜にはトップダウン型とボトムアップ型の二つがある。ERATO は初期においてはトップダウン型であったと指摘する外部有識者が多かった。どちらの選抜方法が良いというこ

とについては、 トップダウン型がよい ボトムアップ型がよい どちらとも言えない、 三つの意見があまり偏り無く存在した。 これらの意見の理由を以下にまとめた。

- (1) トップダウン型がよい :ボトムアップ型の研究プロジェクトは学術振興会のプロジェクトや文部省の科研費など我が国に多く存在する。 どちらの選抜方法でもリスクは存在する。 ボトムアップ型では思い切った戦略的な選抜ができにくい。 ERATOのような国家戦略に基づいたテーマ選定と革新的なテーマを目指すプロジェクトにおいては、 トップダウン型が良いのではないか？
- (2) ボトムアップ型がよい :民主的で皆が納得できる選抜ができる。 トップダウン型で良きトップに恵まれれば、 効率的で、 優れたテーマの選抜ができると思うが、 なかなかそのようなトップはいない。 国の税金でプロジェクトにお金を出す以上、 ボトムアップ型選抜をすべきだと思う
- (3) どちらとも言えない :トップダウン型、 ボトムアップ型の両方も一長一短があり、 どちらが良いとは言えない。 優れたトップがいればトップダウンが良いが、 そのように優れたトップをどのように選ぶかが問題。 簡単ではない。

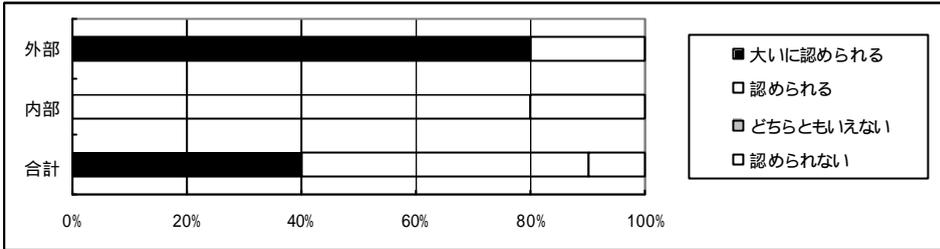
その他、 違った視点からの提言があったので紹介する。

- (4) 「プロジェクトの事後評価は当然行うべきだが、 その評価は事前のプロジェクトへの期待に基づいて、 評価すべきであろう。 しかし、 今までそのようなプロジェクトへの期待やそのプロジェクトを選んだ理由が公表されたことはないように思う。 プロジェクトリーダーにとっても、 自分が選ばれた理由や期待が明確になることはテーマ運営上大いに参考になる筈である。 このように、 事前のテーマ選抜理由が明らかになると、 テーマ選抜自体の評価が可能になる。 決定したプロジェクトの中間、 事後評価も大事だが、 選んだことへの評価も大事なのではないか？」
- (5) 研究期間、 場所、 研究費等  
研究期間 5年は概ね妥当との意見が圧倒的であった。 場所が分かれていても、 あまり問題はないようであった。 研究費は単年度制なので、 その点を柔軟に運営することを希望されることが多かった。 リーダーや研究参事の運営によっては単年度制がかなりの制約になることが指摘された。

## 7. アンケート結果

### 7.1 新たな科学、技術分野の開拓

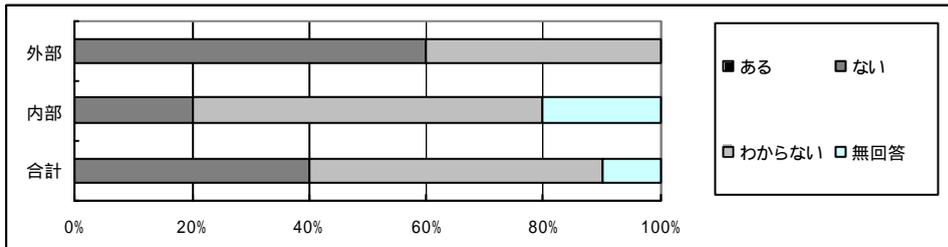
	プロジェクト関係者	外部有識者	計
1 大いに認められる	0	4	4
2 認められる	4	1	5
3 どちらともいえない	0	0	0
4 認められない	1	0	1



有識者は本プロジェクトを「新たな科学技術分野を切り開いた」と認めている。プロジェクト内部は1名を除いて、認めているが「大いに認められる」を選んだ人はいなかった。

### 7.2 学会、分科会、研究会等の創設

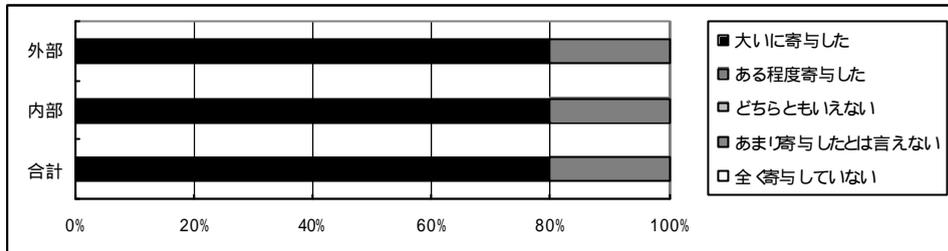
	プロジェクト関係者	外部有識者	計
1. ある	0	0	0
2. ない	3	1	4
3. わからない	2	3	5
4. 無回答	0	1	1



学会・研究会等が創設された例はない。

### 7.3 状況変化への寄与

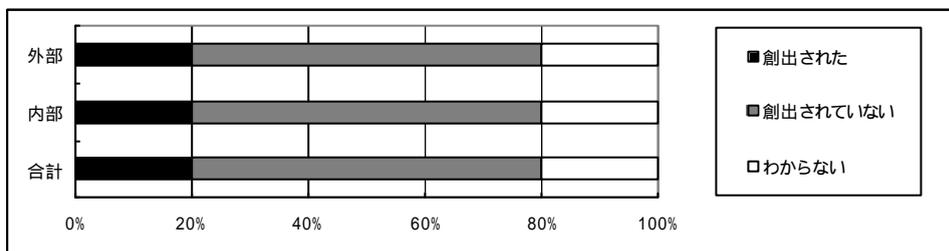
	プロジェクト関係者	外部有識者	計
1. 大いに寄与した	4	4	8
2. ある程度寄与した	1	1	2
3. どちらともいえない	0	0	0
4. あまり寄与したとは言えない	0	0	0
5. 全く寄与していない	0	0	0



回答者全員が「現在への水準への向上」に寄与したと認めている。

#### 7.4 新たな産業分野の成長

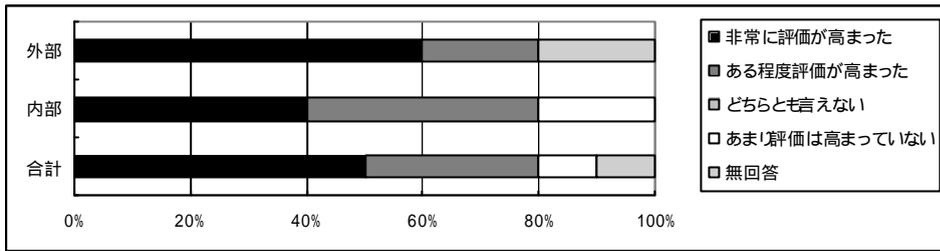
	プロジェクト関係者	外部有識者	計
1. 創出された	1	1	2
2. 創出されていない	3	3	6
3. わからない	1	1	2



「新たな産業が創出された」と考える人は少数 (2/ 10)であった。創出されたと回答した人から具体的産業の指摘はなかった。

#### 7.5 総括責任者に対する評価

	プロジェクト関係者	外部有識者	計
1. 非常に評価が高まった	2	3	5
2. ある程度評価が高まった	2	1	3
3. どちらとも言えない	0	0	0
4. あまり評価は高まっていない	1	0	1
5. 高まっていない	0	0	0
6. 無回答	0	1	1



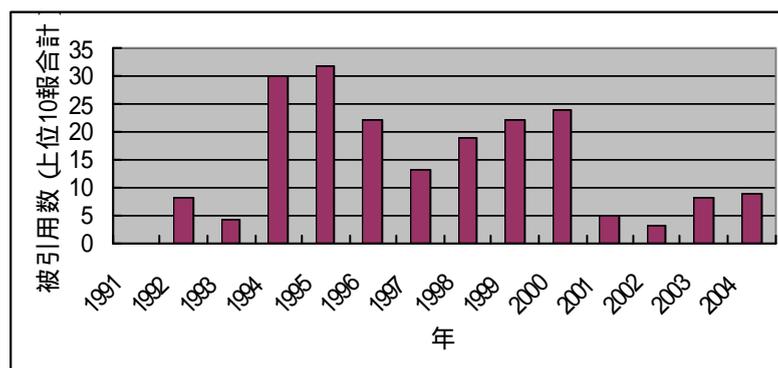
「総括責任者に対する評価」は「ある程度評価が高まった」「非常に評価が高まった」が多かった。コメントから無回答の人も総括責任者への評価が高い。

## 8. 統計資料

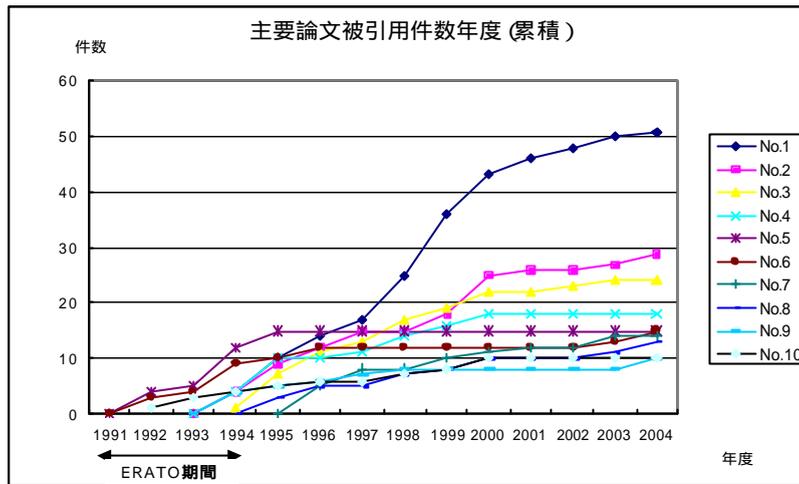
発表論文 45 報の中、被引用回数の最高は 51 回、10 回以上引用された論文は 10 報であった。絶対数は多いとは言いが、この分野の研究者の数はまだ少なく、現在世界で数十の研究グループしかないと思われる。

被引用回数上位 10 報の年別の推移を下図に示す。本プロジェクト終了 (1994 年) 後、2000 年までは被引用回数に大きな変化はないが、2001 年以降回数が急減している。2003 年以降やや増加傾向が見えるが、確かに増加している確証はない。被引用回数減少の原因は、本プロジェクトで開発された技術が 10 年経過して、通常の技術へと変化したためである可能性があるが、確証がなく詳細は不明である。

図表 8-1



図表 8-2



図表 8-3

