

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：73905

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K00287

研究課題名(和文) 超高压電子顕微鏡のオーラルヒストリ を活用した科学技術史

研究課題名(英文) History of high voltage electron microscopy supported by using oral history

研究代表者

黒田 光太郎 (Kuroda, Kotaro)

公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究部・研究員

研究者番号：30161798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：日本で超高压電子顕微鏡の開発が世界に先駆けて成功したのは、戦前からの日本学術振興会第37小委員会からの継続した開発研究があったからである。戦後に小委員会が終了した後も主だった研究者や技術者が産学連携で300kV電子顕微鏡の開発を1950年代半ばまでに完成させている。それから10年後には、500kV超高压電子顕微鏡が開発され、商用機も完成し、海外に輸出するまでに発展している。超高压電子顕微鏡による基礎および応用研究も国内の研究機関で積極的に進められた。それが可能であったのは文部省による資金面でバックアップによるところが大きい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高压電子顕微鏡の開発過程を詳細に辿ることを行い、日本でなぜ開発に成功したかを明らかにした。科学機器の開発には機器を利用した基礎研究および応用研究を並行して展開していくことも重要であることも明らかになった。文部省の金銭的支援もこうした研究には有効であった。1950年代から60年代に進められた産学官連携による開発の知見は今後の産学官連携の推進にも役立つであろう。

研究成果の概要(英文)：Japan's world-leading success in the development of the high voltage electron microscope was due to the continuous development research from the Subcommittee 37 of the Japan Society for the Promotion of Science, which began before World War II. Even after the Subcommittee ended after the war, researchers and engineers completed the development of the 300kV electron microscope by the mid-1950s through industry-academia collaboration. Ten years later, the 500kV high voltage electron microscope was developed, and commercial machines were completed and exported overseas. Basic and applied research using the high voltage electron microscope was also actively pursued by research institutes in Japan. This was made possible largely due to the financial support provided by the Ministry of Education.

研究分野：科学技術史

キーワード：超高压電子顕微鏡 学振第37小委員会 科学機器開発 産学連携 その場観察 高分解能観察 電子線照射損傷実験

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

物質・材料のナノスケール領域を原子レベルで直接観察できる分析・解析装置である透過電子顕微鏡は、基礎科学における科学分析機器にとどまらず、ナノ材料、ナノエレクトロニクス、ナノバイオなどのナノテクノロジーの各分野の発展を支えると共に、エレクトロニクスや高品質素材を中心とした産業を支える基盤としても重要性を増している。これまで日本は、電子顕微鏡の製造および応用技術において、世界に冠たる歴史を誇ってきた。とりわけ、加速電圧が概ね 500kV 以上の電子顕微鏡は超高压電子顕微鏡といわれ、透過率が高いことと収差補正なしでも高分解能が得られること、電子顕微鏡内その場観察実験に応用されてきたことから、学術面を中心に大きな貢献を果たしてきた。一方応用面では、電子線ホログラフィーによる AB 効果の検証、磁性体の磁区構造の観察の基礎科学への貢献に加え、半導体デバイス開発や構造材料の信頼性向上など、産業の発展と国民生活の向上にも多大に貢献してきた。

報告者は 2011 年度から 3 年間、基盤研究 (C) で「電子顕微鏡の科学技術史」を研究し、超高压電子顕微鏡についても調査し研究発表を行ってきた。その際に、日本が最も得意とする超高压電子顕微鏡の分野を詳しく記録しておくことが必要であると認識するようになった。超高压電子顕微鏡に関わった第 1 世代、第 2 世代の研究者が存命である現在を逃すと、オーラルヒストリーを活用した科学技術史の研究を行うことが困難になるであろうと危惧して、本研究を提案するに至った。

2. 研究の目的

超高压電子顕微鏡は、OECD がまとめた第二次世界大戦後 25 年間に生まれた重要な工業技術 100 件のなかに、日本から選ばれた新幹線技術など 4 件のうちのひとつであり、現在世界で唯一日本のメーカーだけが製造できる状況にある。電子顕微鏡とりわけ超高压電子顕微鏡の開発が成功したのは、戦後日本における電子顕微鏡学の発展と密接に関連している。また、基礎科学の研究手段としての電子顕微鏡の普及には当時の文部省が大きな支援を行ない、産学官連携の成功例でもある。本研究では、超高压電子顕微鏡の開発と電子顕微鏡学の発展を関連づけて考察するとともに、超高压電子顕微鏡開発をそれに関わったメーカー、ユーザー、パトロンに関係者に聞き取り調査し、オーラルヒストリーを活用して超高压電子顕微鏡開発の科学技術史を記録したい。

超高压電子顕微鏡の開発における産学官連携の歴史を振り返ることには、基礎科学としての電子顕微鏡学の発展と超高压電子顕微鏡の開発を関連付けて考察することが必要であるが、このような視点による日本における科学機器の科学技術史研究はこれまで行われてこなかった。超高压電子顕微鏡の科学技術史から、科学技術の新分野開拓への多くの指針を得ることが出来ると考えられる。研究分野の成熟過程を振り返ることは、その分野の今後の発展のためにも必要であろう。

3. 研究の方法

超高压電子顕微鏡が大きな役割を果たした「その場観察実験」を領導してきた名古屋大学および大阪大学のグループの関係者にもインタビューを行う。名古屋大学の井村徹と大阪大学の藤田広志は、「金属塑性変形の超高压顕微鏡その場の観察による研究」によって 1994 年に日本学士院賞を受賞し、1991 年には紫綬褒章も受章している。ふたりはすでに逝去しているが、その共同研究者はまだ存命である。超高压電子顕微鏡が存在しなかったら、発見されることはなかったといわれる「臨界電圧効果」に関しては、その発見者および関係者にインタビューを行い、発見の過程、その後の応用への展開を跡付ける。この現象の発見においては、菊池正士の菊池線の発見に始まる日本の物理学における研究を系統立てて検討し、とくに戦後の一時期は上田良二を中心とする名古屋グループが電子回折の動力学的理論において重要な役割を果たしたこととの関連も、関係者からの聞き取り作業を通して明らかにしたい。超高压電子顕微鏡を製造してきたメーカー、日立製作所と日本電子の技術者および営業関係者にもインタビューを行い、日本の超高压電子顕微鏡が世界を席巻していった過程を明らかにする。超高压電子顕微鏡は、国内では 70 年代半ばまでに主要な国立大学などに 10 数機設置され、1970 年代後半には世界中では 55 機を超えて稼働していた。超高压電子顕微鏡が設置されたこのような研究機関の研究者にもインタビューを行う。

以上は当初の研究計画であったが、研究開始から 1 年を経ない 2020 年初頭から新型コロナウイルス感染症が世界的に流行し、国内でも感染者が確認された。その後感染者の増加が起り、緊急事態宣言やまん延防止等重点措置が出されるに至った。こうした感染状況が続く中で、本研究で予定したインタビューの対象者は高齢であり、国内旅行の制限もあることから、インタビューを断念せざるをえなくなった。そのため、文献調査による研究を進めることにして、2 年度および 3 年度の研究費は使用せず、返却することにした。

4. 研究成果

超高圧電子顕微鏡の開発前史から調査研究を行った。1939年に設立された学術振興会第37小委員会（瀬藤象二委員長）のもとで電子顕微鏡開発がすすめられ、加速電圧50kV級の電子顕微鏡が1940年代初期に開発された。学振37小委員会が1947年に閉じられた後も学術研究会議電子顕微鏡特別委員会（瀬藤委員長）に引き継がれ、これが母体となって電子顕微鏡学会が1949年に設立され、委員会は発展的に解消された。1949年には文部省科学研究費電子顕微鏡総合研究委員会（瀬藤委員長）が発足している。1950年に谷安正（東大）を中心に、当時の主な電子顕微鏡研究者が参加した研究組織ができて、朝日新聞の奨励金も得て、高い加速電圧の電顕の試作がはじめられた。装置開発は名古屋大学・日立製作所グループと京都大学・島津製作所グループ、日本電子が担当した。

1952年には加速電圧150kVでの電顕観察が可能になったが、300kVの電顕が完成したのは数年後のことであった。名大・日立グループはVan de Graff起電機を高圧電源に用いた電顕の運転に1954年に成功している。京大・島津グループは3つの高圧電源タンクを繋いだ高圧電源を用いて1957年に300kVの電顕を完成させた。この時期に産学連携によって超高圧電子顕微鏡（HVEM）開発の礎が築かれた。

フランスのDupouyがCNRSのトゥールーズの研究所で加速電圧1000kVのHVEMの開発を進め、1960年に完成させている。この頃、名古屋大学の上田良二は、東レ科学振興財団の援助を得て、1962年に500kVのHVEMの建設に取りかかった。この開発は名大グループ（上田、榊米一郎、丸勢進、美浜和弘、神谷芳弘）と日立製作所グループ（只野文哉、木村博一、片桐信二郎、西垣正之ら）による産学連携の共同研究で進められ、1965年に完成に至った。京都大学的小林恵之助らと連携しながら島津製作所（島津進一ら）においても、1965年に500kVのHVEMの試作に成功している。

こうした開発を経て、500kVのHVEMを、日立は1965年に東京大学物性研究所（鈴木平、井村徹）に納入し、島津は1965年に金属材料技術研究所（藤田広志）に納入している。その後、井村は名古屋大学で、藤田は大阪大学でHVEMその場観察による研究を大きく展開することになる。1960年代後半に日立は650kVのHVEMの商用機HU-650を開発し、1971年までに国内外に6台を設置している。また、日本電子と日立は1000kVのHVEMの試作機を開発し、1966年に京都で開催された第6回国際電子顕微鏡会議で発表している。このように商用機としてのHVEMが完成している。海外では、イギリスのAEIが1000kVの装置を開発して、その後欧米で普及していく。アメリカのRCAも1000kVと500kVのHVEMを開発している。1971年には大阪大学に日立製の3MVのHVEMが設置され、トゥールーズにも同じく3MVの装置が完成している。HVEMは、国内では1976年までに、北大、東北大、日本原子力研究所、無機材質研究所、新日本製鐵、東大、名大、京大、阪大、九大に設置された。1970年代後半には世界中で加速電圧が500kV以上の装置が55機を超えて稼働した。

HVEM用に種々の電顕内試料処理装置が製作され、TV-VTR観察記録システムも稼働して、名大の井村徹や阪大の藤田広志らのグループを中心に、電顕内その場観察実験が精力的に行われていった。

HVEMならではの現象が1967年に日立中研で永田文男と福原明によって、名大で上田良二と渡辺伝次郎によって、それぞれ独立して発見された。それは、電子と物質との動力学的相互作用によって生じる二次反射消滅効果（後に臨界電圧効果とよばれる）である。この効果を利用することによって、結晶構造因子の精密測定ができることを上田は指摘し、渡辺らは鉄などの金属について極めて正確な測定値を得ている。

HVEMは、短い波長の電子線をつくれるので、高分解能観察が可能になることが期待され、1960年代後半からは高分解能観察のチャンピオンデータはHVEMで得られるようになった。高分解能観察の分野では、京大化研、東北大、無機材質研、東大などが多くの成果を次々に発表していった。

HVEMでは、高エネルギーの電子線照射によって生じる照射損傷に関する研究が活発に行われた。格子欠陥集合体の発生や集合の温度依存性から点欠陥の移動度が桐谷道雄によって定量的に求められている。

HVEMの開発に続いて、電子顕微鏡学や物理学の基礎研究とともに材料科学工学などの応用研究が幅広く深く展開されていった。これによって更なるHVEMの開発も可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 黒田光太郎	4. 巻 49
2. 論文標題 電子顕微鏡の発達史：化学研究の機器としても	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 化学史研究	6. 最初と最後の頁 99-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田光太郎	4. 巻 48
2. 論文標題 超高压電子顕微鏡開発と名古屋大学	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学史研究	6. 最初と最後の頁 119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田光太郎	4. 巻 58
2. 論文標題 材料研究における電子顕微鏡法の導入と発展	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 まてりあ	6. 最初と最後の頁 261-268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/materia.58.261	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 黒田光太郎	4. 巻 46
2. 論文標題 分析電子顕微鏡の開発と発展	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学史研究	6. 最初と最後の頁 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 超高压電子顕微鏡の科学技術史 - 電子顕微鏡法に果たした役割 -
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 電子顕微鏡の発達史：化学研究の機器としても
3. 学会等名 2022年度化学史発表会（年会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 名古屋大学と電子顕微鏡
3. 学会等名 中部産業遺産研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 超高压電子顕微鏡による画期的成果
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 電子顕微鏡内環境セルの開発 - 化学反応その場観察の展開 -
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Kuroda
2. 発表標題 Early history and development of high voltage electron microscope in Japan
3. 学会等名 26th International Congress of History of Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 日本における超高压電子顕微鏡の展開期
3. 学会等名 日本科学史学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 超高压電子顕微鏡開発と名古屋大学
3. 学会等名 2021年度化学史発表会(年会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 転位論の発展と超高圧電子顕微鏡への期待
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 日本における超高圧電子顕微鏡の揺籃期
3. 学会等名 日本科学史学会第67回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 金属組織学と電子顕微鏡の始まりの頃
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 電子顕微鏡開発と産学共同研究
3. 学会等名 日本科学史学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 分析電子顕微鏡の開発と発展
3. 学会等名 2019年度化学史発表会（年会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田光太郎
2. 発表標題 戦後日本における500kV超高压電子顕微鏡までの道程
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

javascript: onSave()

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------