

先端研究拠点事業  
事業実績報告書  
(事後評価資料)

採用年度	平成19年度
種別	拠点形成型

平成21年4月21日

領域・分野	化学
分科細目名(分科細目コード)	材料化学(4801)
採用番号	19002
研究交流課題名(和文)	有機エレクトロニクス関連薄膜・界面の電子構造と電子過程
研究交流課題名(英文)	Electronic Structures and Electronic Processes in Films and Interfaces Related to Organic Electronics
採用期間	平成19年4月1日～平成21年3月31日(24ヶ月)

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	名古屋大学
実施組織代表者(所属・職・氏名)	大学院理学研究科・研究科長・近藤孝男
コーディネーター(所属・職・氏名)	大学院理学研究科・准教授・大内幸雄
協力機関数	6
参加者数	109

相手国1

国名	米国
拠点機関名	プリンストン大学
コーディネーター(所属・職・氏名)	電気工学科・教授・Antoine Kahn
協力機関数	6
参加者数	11

## 相手国 2

国名	ドイツ
拠点機関名	ビュルツブルグ大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	物理学科・教授・Friedrich Reinert
協力機関数	12
参加者数	18

## 相手国 3

国名	スウェーデン
拠点機関名	リンシェーピング大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	物理学科・教授・William R. Salaneck
協力機関数	3
参加者数	10

## 交流目標の達成状況

### ① 全交流期間を通じての達成目標（申請書で示された内容と同一のもの）

参加国の実験・理論両面に渡る多彩な分野の研究者が協力し、ナノメートル程度の厚さの電子機能性有機薄膜、特にその界面をコア研究主題とし、具体的には「放射光実験と理論による界面の構造と電子構造の研究」「新しい有機デバイス開発」「新しい薄膜・界面の評価法開発」の3課題で新しい学問分野を開拓します。これまでこの分野を推進してきた表面分光関係の実験研究者がベースとなりますが、理論分野や有機電気物性、バイオ関連物質等、関連領域の研究者をメンバーに含め、有機電子物性の基礎科学全般、バイオセンサー等への展開、さらに単一分子と電極金属の接続の問題への寄与など、広く有機エレクトロニクス全般に貢献することを目標とします。

これを実現するために、次のような施策を講じます。

- (1) メンバーグループ間で、上記主題による共同研究を行います。これには海外の放射光施設 MAX-LAB（スウェーデン）、BESSY（ドイツ）での実験を含みます。コアとなるメンバーは多くの問題意識を共有していますが、得意とする実験的・理論的手法は多彩であり、相補的研究を行えます。若手の参加も積極的に求めます。
- (2) 主要メンバーの多くが集まる研究集会を開催します。これにより、広い視野にわたる、深く徹底的な討論、効率的な成果発信と情報収集ができます。
- (3) これらの会合に、上記関連領域の研究者を招いて、周辺領域との交流を効率的に行います。
- (4) メンバー間の情報や知識の交換を図るため、共通のウェブサイトを開設します。ここには各グループへのリンクにより、メンバーや研究主題などの基本情報を掲載すると共に、ホットニュースや、関連分野の会合情報、人事情報などを掲載する予定です。これにより、情報の効率的な収集・発信を行います。
- (5) またこの学際分野の次世代を担う若手研究者を、参加メンバーが協力し、次のような施策を通じて育成します。
  - (a) 共同研究に若手を参加させ、互いの研究室への滞在、共同チームでのシンクローン放射光施設での実験などを推進します。また、海外で先進的研究を行っている研究室へ若手を派遣して新手法を修得させます。
  - (b) 上記研究集会に若手の参加を積極的に求め、講演者にも若手を起用します。
  - (c) 若手スクールを開催します。分野全体の基礎を固めるものと、特定主題に特化したものを併用します。これらの若手育成施策により、各国の若手研究者が早くから互いに知り合い、助け合うネットワークを形成するとともに、若手が他国の有力研究者と知り合い、認知され、討議する機会を持つことで、互いに刺激しあい、鍛えられて、分野の未来を担える人材に育つことを期待しています。

### ② 交流目標の達成状況

**A 学術的な成果：**共同研究主題として、「シンクローン放射光実験と理論研究を軸とする界面の構造と電子構造の研究」「新しい有機デバイスの開発」「新しい薄膜・界面の評価法の開発」を設定し、この枠組みに沿って研究を展開してきた。

「界面の構造や電子構造の研究」では、ドイツ、スウェーデンのメンバーと、既に十分な交流が進展しており、平成19年度の本事業では、両国の放射光施設(BESSY, MAX-LAB)を利用し、両国と日本の若手研究者が共同して、基板上有機膜における分子配列や界面の電子構造について詳細な研究を行った。坂本ら(千葉大)はMAX-LABにおいて様々な基板上に作製したペンタセン薄膜のX線光電子分光、紫外光電子分光(UPS)の共同実験を行い、分子内分極に関する新しい知見を得た。解良ら(千葉大)はドイツ ビュルツブルグ大のグループと BESSY において有機半導体薄膜の高分解能内殻電子励起による光電子分光を用いた共同研究を行い、新手法の可能性を確認するとともに新たな知見を得ることができた。平成20年度はさらに、これらのドイツ・スウェーデンのグループと放射光を用いた共同研究を進展させ、一連の成果を総説として報告した(Prog. Surf. Sci. **83**, 490-557(2008))。また、千葉大とスウェーデンの理論グループの間にも交流が進展し、平成19年度は藤川がストックホルムを訪問して、Agren 教授らと UPS における多電子効果、電子-格子相互作用に関する理論的研究に関する討議を行い、広範な成果を得た。

「有機デバイスの開発」では、日本とドイツの研究者が、有機太陽電池などの有機デバイスとその基礎についての討議から開始した。阪大グループとドレスデン工科大 K. Leo 教授グループの間で、p型新規材料 DCV6T を用いた太陽電池作製・評価という共同研究が生まれた。また、千葉大の石井グループはフンボルト大学のコッホ教授らと有機メモリー素子に関する米国特許を出願した。

「新しい評価手法の開発」では、名大の金井が米側拠点機関であるプリンストン大 A. Kahn 教授の研究室に滞在し、空電子準位を調べるための逆光電子分光などの薄膜、界面研究の諸手法についての共同研究を行い、従来測定が難しかった長鎖アルカンの電子構造測定に成功した。

## ② 交流目標の達成状況 (つづき)

これによって得た経験と知識は、帰国後の名大における新規逆光電子分光装置の開発に活かされた。また、研究者交流の枠組みでレーザー多光子光電子分光などの手法開発について、阪大グループがドイツ ビュルツブルグ大 F. Reinert 教授のグループと討議を行った。さらに名大グループ(金井)はドイツ ボッフム大を訪問し、有機単分子膜による電極界面修飾に関する共同研究を行った。なお、ドイツ IFW グループ(Knupfer)と、有機超薄膜の電子構造に関する共同研究を通して、共著の論文が出版された。(Chem. Phys. Lett., **451** 58-62 (2008).)

### **B 持続的な協力関係の基盤構築:**

平成19年度に日本で開催したセミナー「ASOMEA-IV」において、スウェーデンからコーディネーターを含む多数のメンバーの参加を得、事業の今後の展開について討議したほか、8月には日本側コーディネーターの故関教授がドイツで拠点機関のビュルツブルグ大学を訪問し、ドイツ側の主要メンバーと共に、ドイツにおけるマッチングファンド申請を含めた協力関係の強化について相談した。また、これをもとに、現在ドイツにおいて、DFGへの資金申請を行っている。平成20年度に米国で開催された「ESPMI-IV」および日本にて開催された「Winter School」において協力関係の維持・強化が確認された。

**C 若手研究者養成における成果:** 平成19年9月、ドイツ物理学会本部(Bad Honnef)で若手スクール「有機固体における電荷輸送」を開催した。米独の本事業メンバー3名を含む招待講演者のレクチャーに対して、日本から8名の若手が参加した。本分野の基本事項について学ぶ絶好の機会となった他、海外の研究者と交流することができた。また10月初旬に、平成13年から3回開催して成功を収めている日本—スウェーデン国際会議「電子機能性有機物質の先端分光」の第4回会議(ASOMEA-IV)を、千葉大学21世紀COE「超高性能有機ソフトデバイスフロンティア」と千葉県で共催した。



図1 2009年1月に開催された WinterSchool

日、スウェーデン、米、独、オーストリア、韓国の第一線の研究者を招待講演者として招き、日本およびスウェーデン側のメンバーの大半と、米・独側メンバーの多くに加え、多数の若手研究者・院生が参加し、活発な研究発表討議を行った。若手を含めた本事業メンバー間の交流の深化に加え若手主導の新しい共同研究の開始や新たな交流に大きな成果を上げることができた。平成20年6月には米国プリンストン大学にてESPMI-IVを開催(Kahn教授)、平成21年1月に名古屋大学にて有機単結晶育成・評価に焦点を当てたWinter Schoolを開催(図1)。本事業海外メンバーを含む一流講師を迎え、院生・若手研究者にとって専門的な知識を集中的に体得できる機会を提供した。一連の交流の結果、双方向若手交流の実績の一つとして、フンボルト大学の博士後期課程修了者をJSPS外国人特別研究員として千葉大学に迎え、また千葉大学の博士後期課程修了者をフンボルト奨学生としてチュービンゲン大学に博士研究員として派遣したことを付記する。

**D 国際的学術情報の収集整備:** 上記の若手スクールや国際会議の開催を通して、関連分野における一流研究者の集団である本事業メンバーが一堂に会して研究発表と討議を行うことにより、先端学術研究の学術交流が実現した。会を通してメンバー間の個人的接触が増え、共同研究やヒューマンネットワーク構築、国際的学術情報収集網の整備に結び付いた。これは、相互訪問における討議等と相補的な役割を果たしたと考えている。有機エレクトロニクスのような新規学際研究分野では、広い研究情報収集が極めて有益で、本事業において構築された国際ネットワークは、最新研究成果や研究動向などの情報を知るための貴重なシステムとなっている。

**E 事業の波及効果:** 本事業を通してメンバー間の人的交流の促進強化、また実際の共同研究へと発展している。これは、今後より一層の共同研究の推進と若年層や博士後期課程の学生などの人的交流を図る上で、確固たる基盤となっている。特に、日本人若手研究者の海外拠点への滞在や訪問、学術会合への参加を通して、この分野の国際的コミュニティに参画できるようになったことは、我が国における有機エレクトロニクスの発展に今後大きく寄与するものと確信している。尚、この事業の結果、千葉大学はリンシェピン大学と大学間協定を締結、ビュルツブルグ大学とは締結準備中である。京都大学もリンシェピン大学との大学間協定を締結し、本プロジェクトを含む幅広い分野において研究拠点間の関係強化に資することが出来た。

## 実施状況

### 研究交流計画実施にあたる実施体制

当事業の協力メンバーが主催あるいは共同開催した H19 年度の ASOMEA の国際会議や Summer School 等、H20 年度の ESPMI や Winter School 等に、各研究機関のシニア・若手研究者や大学院生を含めたグループが参加し、有機エレクトロニクスに関連する薄膜やその界面の電子構造ならびに電子過程の研究について、一層の深化や協力強化に向けての拠点・協力機関の連携体制を構築した。その実は、国外においては、特に京都大学のメンバーがスウェーデンのリンシェーピン大学の研究グループとの研究協力関係を強化し、間もなく学術交流協定の締結に至り広範かつ強力な連携関係を築くに至った。また、同様に、千葉大学はリンシェーピン大学との大学間協定を締結し、さらにビュルツブルグ大学との協定締結の準備を行っている。さらに、連携の試みとして、来日したプリンストン大学の Kahn 教授、ビュルツブルグ大学の Schoell 博士らに大学院の講義の一部を担当していただき、将来に向けた拠点・協力機関の一層の関係強化を目指した。

### 日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み（事務支援体制等の観点より）

名古屋大学においては、事務的には理学部・理学研究科・多元数理科学研究科事務や本部研究協力部研究支援課を中心に強力な全面支援体制をとってきた。また、本事業に関連した学内ネットワークとして、本事業メンバーを軸とした全学研究会が、H19 年度は総長裁量経費、H20 年度は理学研究科長裁量経費に採択されるなど、学内の関連研究が進展してきた。

## 共同研究

共同研究主題として、「シンクロトロン放射光実験と理論研究を軸とする界面の構造と電子構造の研究」、「新しい有機デバイスの開発」「新しい薄膜・界面の評価法の開発」を設定し、この枠組みにそって研究を展開した。

界面の構造や電子構造の研究では、ドイツ、スウェーデンのメンバーと、既に十分な交流が進展しており、両国の放射光施設 (BESSY, MAX-LAB) を利用し、両国と日本の若手研究者が共同して、基板上の有機膜における分子配列や界面の電子構造について詳細な研究を行った。千葉大の坂本らは MAX-LAB において様々な基板上に作製したペンタセン薄膜の X 線光電子分光、紫外光電子分光 (UPS) の共同実験を行い、分子内分極に関する新しい知見を得た。また、千葉大の解良らはドイツ・ビュルツブルグ大のグループと BESSY において有機半導体薄膜の高分解能内殻電子励起による光電子分光を用いた共同研究を行い、新手法の可能性を確認し、新しい知見を得ることができた。また、千葉大の理論グループとスウェーデンの理論チームの間にも既に交流が進展しており、本年度は藤川がストックホルムを訪問して、Agren 教授らと UPS における多電子効果、電子-格子相互作用に関する理論的研究に関する討議を行い、制動放射が及ぼす光電子放出角度分布に関する物理的解釈についての知見を得るなど、有益な成果を挙げた。

有機デバイスの開発では、日本-ドイツの研究者ラインで、有機太陽電池などについての討議から開始した。具体的には、2 件 (3 名) の訪問、討議を行い、既に阪大とドレスデン工科大の間で若干の共同研究を行って、K. Leo 教授のグループと太陽電池関連の p 型新規材料 DCV6T を用いた太陽電池作製、評価を行い、高効率有機太陽電池開発への知見を得るなどの成果を得ている。また、日本-米国のラインでは分子研のグループが有機 EL の創始者であるプリンストン大学 Tang 教授のグループとの共同研究が開始した。一連の成果は Prog. Surf. Sci. **83**, 490-557(2008)にまとめられている。また千葉大の石井グループはフンボルト大学のコッホ教授らと有機メモリー素子に関する米国特許を出願した。

新しい評価手法の開発では、名大の金井が米側拠点機関であるプリンストン大 A. Kahn 教授の研究室に滞在し、空電子準位を調べるための逆光電子分光などの薄膜、界面研究の諸手法についての共同研究を行い、従来測定が難しかった長鎖アルカンの電子構造測定に成功した。この成果は、帰国後の名大における新規逆光電子分光装置の開発に活かす事が出来た。また、研究者交流の枠組みでレーザー多光子光電子分光などの手法開発について、阪大グループがドイツ ビュルツブルグ大 F. Reinert 教授のグループと討議を行った。

## セミナー

(1) 関連分野における一流研究者集団である本事業メンバーが一堂に会して研究討議を行うことにより、先端的な学術研究交流が行えると共に、質の高い討議を重ねることにより分野の急速な進展が期待できる。(2) メンバーの個人的接触はその後の共同研究に結びつくなどのヒューマンネットワーク構築に大いに資する。これは相互訪問における討議等と相補的である。(3) 主要メンバーが集まるセミナーは、本事業を含めた分野の協力・活性化を検討するための良い機会を提供する。これは他の交流形態ではなかなか難しい。(4) 若手研究者が国境を越えて知り合うことができ、次世代リーダーのネットワーク構築に資する。また、シニアメンバーにも若年時代からの知己を得る機会となり、国際舞台での活動にも有効と思われる。(5) 若手スクールにおいては、本分野のような学際領域にありがちな情報不足を払拭することが出来、既存の学協会では得られない重要課題、基本課題についてまとまった知識を得ることができる。本プロジェクトの2年間で実施した合計4回のセミナーでは、上記のようなセミナーに対する役割が、良く達成できた。すなわち、H19年9月にドイツ物理学会本部(Bad Honnef)で開催された若手 Summer School「有機固体における電荷輸送」では、米独の本事業メンバー3名を含む招待講演者のもと、日本から8名の若手が参加し、本分野の基本事項について学ぶ他、海外のシニア、若手研究者と交流することができた。また10月初旬にASOMEA-IVを千葉県で開催した。日本側、スウェーデン側のメンバーの大半が参加する他、米、独のメンバーを招待講演者として招き、活発な研究発表・討議の機会となったほか、若手を含めた本事業メンバーの多くの間で交流の実を挙げる事ができた。平成20年6月にはESPMI-IVを米国プリンストン大学にて開催し、有機エレクトロニクス研究の基礎的問題である有機分子の関わる界面における電子構造と電子過程の解明に関する様々な研究報告・議論を集中的に行った。H21年1月に名古屋大学において開催したセミナー(Winter School)では、本事業推進の根幹に関わる有機半導体・伝導体の高純度化およびその手法と評価法を、初学者にも分かりやすく丁寧に解説するところから初め、後半においては参加者らが広く有機電子デバイスに関連する純度の問題について多角的な視野で討論を行ったものである。4回のセミナーにはその題材に特色・相補性があり、既存の学協会では十分にカバーできない類のものである。本事業によるセミナーの有用性が遺憾なく発揮されたものといえよう。

## 研究者交流

本事業における研究者交流については、次のように位置づけている：

(1) メンバー国における関連分野の有力研究者であるメンバーを、その本拠地に訪問することにより、セミナーなどの慌ただしいスケジュールに制約されることなく、また実験装置などの研究の現場に接しながら、突っ込んだ討議が行える。(2) 共同研究が行えるかどうか不明な段階では、上記のような、研究現場の雰囲気を感じつつ相談することにより、具体的な相談を行うことが可能である。(3) 事業メンバーのみならず、周辺の若手や、同機関に属する関連分野研究者の研究に接し、交流することで、将来の研究の発展に資することができる。(4) 訪問者が若手を帯同することにより、若手が相手研究者やその周辺の若手に接したり、高度な施設、設備に接して多くを学ぶことができる良い機会となる。これらのメリットの多くは通常の共同研究でも得られるものであるが、本事業での共同研究の多くは、共同する研究者の所属機関以外の放射光施設で実施するため、研究者交流は貴重な機会を提供する。

本事業における研究者交流は、この役割を十分達成したと考える。具体的には、米・独・瑞のメンバーの研究室に、シニアメンバーと若手研究者のバランス良い派遣を23件行った。これには、諸種の関連国際会議での本計画に関連した研究発表と組合せての訪問も含まれる。これらを通じて、関連分野の研究者間での中身の濃い接触を行うことができ、中には、これに基づいて実際の共同研究の試行にまで展開したケースもある。さらに、本事業の協力体制や進め方について日独のコーディネーターが討議することもできた。