

先端技術研究開発センター 成果報告会 2017

日時：2018年3月13日（火）

場所：青山学院大学相模原キャンパス B棟9階（ビューラウンジ）

（外部評価委員）

東京大学大学院工学系研究科	加藤 隆史	（委員長）
関西学院大学理工学部	鹿田 真一	（副委員長）
慶應義塾大学理工学部	斎木 敏治	
東京大学大学院薬学系研究科	清水 敏之	
東京大学生産技術研究所	光田 好孝	
大阪大学大学院基礎工学研究科	宮坂 博	

（内部評価委員）

物理・数理学科	松川 宏
化学・生命科学科	田邊 一仁
電気電子工学科	淵 真悟
機械創造工学科	小川 武史
経営システム工学科	栗原 陽介
情報テクノロジー学科	佐久田 博司

青山学院大学理工学部附置先端技術研究開発センター最終成果報告会 評価報告書

(1) はじめに

青山学院大学理工学部附置先端技術研究開発センター (Center for Advanced Technology) (所長：重里有三教授) においては、現在二つの文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「細胞膜の異質界面における分子理解と新機能創成基盤の形成」(代表：宮野雅司教授) および「炭素材料科学の新展開－希少元素フリーで環境に優しい次世代炭素材料の開発－」(代表：澤邊厚仁教授) が進行している。また、外部資金による研究プロジェクト「実働分子マシン」「エピタキシャルダイヤモンド基板生産技術開発プロジェクト」が推進されている。平成 30 年 3 月 13 日 (火) に、先端技術研究開発センター報告会 2017 相模原キャンパスにおいて開催され、外部評価委員 6 名 (委員長を含む)、および、内部評価委員 6 名からなる委員会において、評価および講評が行われた。ここに、その評価結果を報告する。

(2) 総合評価

文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「細胞膜の異質界面における分子理解と新機能創成基盤の形成」(代表：宮野雅司教授) は、5つのグループにより構成されている。膜タンパク質の結晶化からモデル生物の動態、新規錯体プローブの開発にまたがる独創的な研究が展開されており、「私立大学における先端的な研究基盤の形成強化」「我が国の科学技術の進展に資すること」という支援事業の目的に沿った優れた研究が各グループにおいて進行されたと言える。研究内容は研究対象、研究のアプローチともに興味深いものである。総合的には優れた結果が得られていると言える。「細胞膜の異質界面」とは何か、どのようなゴールが見えにくかったという中間報告での評価・要望に対してはあまり回答がでていないところもある。本研究プロジェクトにおいて、共同研究を活発に行おうとする方向性は見えており、まだ、共同研究の成果は十分に出ていないが、今後の研究の発展が期待される。人材育成に関しては、学会参加支援、研究会などを通じて行われ効果が上がっていると考えられる。

外部資金による「実働分子マシン (代表：阿部二郎教授)」では独創性の高いフォトクロミック分子の開発が順調に進められており、論文発表の内容も素晴らしいものである。今後はこれらの分子の強調による分子マシンへの展開が期待される。

文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「炭素材料科学の新展開－希少元素フリーで環境に優しい次世代炭素材料の開発－」(代表：澤邊厚仁教授) は 8つのグループにより構成されている。ダイヤモンド、グラファイトなどの旧来の同素体からグラフェンのような新規炭素材料にわたる幅広い炭素材料に関する独創的な研究が活発に行われており、この支援事業でも「私立大学における先端的な研究基盤の形成強化」「我が国の科学技術の進展に資すること」という事業目的に沿った優れた研究が各グループにおいて進行したと言える。独自のパターンニングによるストライプを用いた選択成長で方位依存性があることを見つけ、また格子状核発生による転位制御などで、転位密度を一桁半減らすことに成功しており、優れた研究成果が得られている。個々の炭素材料の研究テーマには、産業としての実用化に近いもの、学術的に意義のあるものなどがあり、

バリエーション豊富な炭素材料を幅広く取り扱う意欲的な取り組みであった。昨今、論文の出やすいテーマを次々と追う研究者が多く、研究投資の割に世の中への還元率が下がってきている中、「一所懸命」で進めた本プロジェクトは、他研究機関、研究者の模範にもなるのではないかとと思われる。今後、情報交換、共同研究、若手の交流を活発に進め、「学術分野」としての発展を期待する。

外部資金による「エピタキシャルダイヤモンド基板生産技術開発プロジェクト(代表: 澤邊厚仁教授)」では、大学で生まれた技術シーズを基に実用化に向けた産学連携研究が進められている。独自のアイデアを用いた技術開発が行われており、真の意味での産業化となることを期待する。

(3) 個別評価

「細胞膜の異質界面における分子理解と新機能創成基盤の形成」

本研究は、多様な脂質から構成される細胞膜における膜タンパク質の構造と機能の理解と新機能創成基盤の形成を目指した研究プロジェクトである。異質界面とは、さまざまな膜タンパク質競合的・競争的に、特異的水素結合と疎水相互作用により信号伝達や生化学反応を異質的に行う細胞膜上の界面である。これらを分子レベルで理解することにより、新機能創成のための基盤づくりを目指している。平成 25 年の開始プロジェクトである。中心的なプロジェクトである膜タンパク質の構造解析に関する研究をはじめ 5 つのテーマで構成され、5 年間の期間を終了した。外部評価委員 6 名、内部評価委員 6 名による評価を実施したので、以下の報告を行う。

1. たんぱく質における疎水・親水界面における構造と相互作用と機能発現 (宮野 G)

本グループの宮野教授は全体の統括とともに構造生物学的アプローチにより、膜貫通型のたんぱく質の構造決定を基盤技術として、タンパク質の機能と界面の効果を分子レベルから解明している。特に、最近、GPCR の一つであるロイコトリエン B4 受容体 (BLT1) とベンズアミン基を含む化合物との複合体の結晶構造を理化学研究所・順天堂大学との共同研究により明らかにしている。最近、重要な成果が論文発表 (Nature Chemical Biology 誌, 2018 年) されている。これは、将来的には薬の探索につながっていくことが期待される。

2. 細胞膜脂質と膜タンパク質分子間の相互作用解析 (阿部 G)

外界と細胞内を分ける細胞膜に局在する基質輸送体の機能や制御に関する解析を行っている。特に酵母トリプトファン輸送体に関して、興味深い知見を得てきている。今後、この輸送体の細胞による制御の仕組みがより明らかになっていくことが期待される。

3. 細胞表面のビジュアルプロテオミクスを実現する計算解析技術開発 (諏訪 G)

細胞膜表面で重要な生命現象を担い、創薬の重要標的である膜タンパク質の機能を真に理解するために、タンパク質の電顕画像を入力して膜タンパク質の構造・機能データベースをつくり、今後、実際のタンパク質の電顕写真によりどのタンパク質がどのように相互作用しているか調べようとしている。まだ端緒が得られたところであり、方法論の

確立などが必要である。今後、これらを克服していくことにより発展が期待される。

4. 生きた細胞での膜機能を制御する機構解明

4-A. 細胞表面観測の試料台作製とそれによるナノポアを用いた DNA 解析法と物理的・生理的刺激に対する培養細胞の応答機構の研究（三井敏之）

半導体プロセスによりイオンチャンネルの作製し、それにより、イオンやDNAの通過を観測している。導体化したポアにパルス電位を与えるだけでDNAのポア通過が起きることを見出している。さらに、皮膚細胞における配列再生とそのシミュレーションに関する研究は印象的な研究である。実験およびシミュレーションの組み合わせによる細胞において膜の役割や細胞間のコミュニケーションがより明らかになっていくことが期待される。

4-B. 運動・行動や環境適応における膜タンパク質の機能と動態（平田G）

KCC2 遺伝子に変異を持つゼブラフィッシュを作製したところ、光刺激や音刺激に対して、てんかん発作様の異常行動を示すことを見出している。また、海外との共同研究において、人のてんかんにおいても、KCC2 がてんかんの新しい原因遺伝子であることを明らかにしている。このように、動物の運動・行動に関与する膜タンパク質の新しい機能が明らかにされた。また、人のてんかんの研究にも発展しており、将来的には、医療分野への新しい展開が期待される。

5. 膜タンパク質の構造特異性を規範とした希土類発光素子開発（長谷川G）

最終的な目標は、希土類錯体を用いることにより、膜の評価を行うことである。このために水中で安定・高効率な発光を示す希土類錯体ユニットの開発を目指している。カルボキシル基を有する配位子を設計して、これを用いた希土類錯体が、水溶液中で安定に発光することが見出された。なお、本プロジェクトのメンバーである平田教授との共同研究が進んでいる。まだ、報告等にはなっていないが、今後の生体への応用が期待される。

まとめ

本プロジェクトは、宮野教授を中心に、膜タンパク質に焦点をあてて、その分子的理解を進め、さらに新機能創成の基盤を形成するという観点からの研究である。興味深い優れた結果も得られてきており、一部の研究は論文として出版されており概ね優れた成果があがっていると考えられる。このプロジェクトにより共同研究等もスタートしているが、この期間内で研究交流が始まった段階と思われ、まだ成果としては形にあまりなっていない。しかし、新しい研究は時間がかかるため、今後も引き続き連携・共同研究を進めていくことが望まれる。また、題目にある「新機能創成基盤の形成」に対して、本プロジェクトにおける意義付けが分かりにくいという意見や、本プロジェクト全体としての連携がどのようなものであったかが分かりにくかったという意見があった。

人材育成に関しては、定量的データに接することはできなかったが、シンポジウムの開催・学会の参加費援助等により、学生の育成はある程度進んだと考えられる。学生のポスター発表は活気あるものであった。若手教員も任期制の中で、良い研究成果をあげ

ていると考えられる。

「炭素材料科学の新展開」

—希少元素フリーで環境に優しい次世代炭素材料の開発—

本研究は、希少元素を用いた材料から、ありふれた軽元素への転換をベースとした戦略的研究上で様々な日本発材料である炭素系材料の展開であり、かつ長年青山学院大学が取り組んできた「温故知新」の材料であるダイヤモンドの展開に関する連携プロジェクト研究である。さらには電気電子を核に、物理・数学、化学・生命の専門分野を横断した研究者の知恵を集める連携の側面を有する。平成 25 年開始のプロジェクトで、中心テーマであるヘテロエピ成長によるダイヤモンドを始め下記の 8 テーマで構成され、5 年の期間を終了した。

1. 低欠陥・低歪ヘテロエピ成長によるダイヤモンド基板開発（澤邊 G）

独自のパターンニングによるストライプを用いた選択成長で方位依存性があることを見つけ、また格子状核発生による転位制御などで、転位密度を一桁半減らすことに成功している。その他結晶性、高速合成など複数の優れた成果を挙げている。応物の論文賞はじめ、国際学会などでの学術成果も高いレベルにある。転位の解析と低減への考察をより深めることで、さらなる展開が期待される。本件に関する長い歴史を有する青山学院大ならではの研究で、工具、光学窓、放熱、パワーデバイスウエハ、量子素子、宝石等々多くの応用が迫る中、今後、順次個々応用固有の材料課題を突破してもらえることが期待される。

昨今、論文の出やすいテーマを次々と追う研究者が多く、研究投資の割に世の中への還元率が下がってきている中、「一所懸命」で進めた本プロジェクトは、他研究機関、研究者の模範にもなるのではないかと思われる。

本プロジェクトの重要な役割である、後進の育成に関して、内外のトップ機関のポスドクを複数輩出し、国際会議の多数の報告、応用物理学会論文賞受賞など育成効果は高い。

2. 高い転位温度を持つ超伝導体の創生及び実用化（下山 G）

Mg は存在量が多く炭素と並んで、今後材料に取り込まねばならない軽元素である。従来の高温超伝導体と異なり、重元素かつレア元素を用いない超伝導体は、まさに本プロジェクトに適した題材である。今回、本プロジェクトの趣旨にも沿う炭素をドーピングした MgB_2C_2 超電導で、高い臨界電流密度が得られたのは、大きな成果である。

3. マイクロ波、ミリ波帯における炭素混入電波吸収体・シールド（橋本 G）

炭素混入した電波吸収体およびシールド材を開発するグループである。電波の入射角度依存性に関する研究を実施し、 $0\sim 71^\circ$ の広角度で、20 dB 以上の吸収が得られることなどを示した。全体のプロジェクトが平行して走っているため、未だ最新の各種材料評価には至っていないが、順次手掛けることにより、広範囲の材料に関する知見が得られるものと考えられ、今後の展開が期待される。

4. ナノカーボン材料における新奇量子物性（春山 G）

グラフェンなどナノカーボン材料に関して、新奇量子物性減少を材料サイドから探索する基盤研究である。一例として、BiTe を用いたトライアルを実施し、グラフェンにスピン軌道相互作用導入し、二次元トポロジカル絶縁体の可能性を実証するなど成果を得た。本分野は、20016 年にノーベル賞対象になるなど新しい分野であるが、炭素系材料の展開として期待できる。

5. 炭素新素材のマイクロ波物性（北野 G）

各種炭素材料の特異な物性に関するマイクロ波応答を用いた解析を行い、材料と上記電波吸収・シールド、共振デバイスなどを結び付ける研究である。例としてフラーレンに Rb,Cs など添加した試料の高周波における電気伝導など計測を実施するなど基盤研究を実施した。これも、全体のプロジェクトが平行して走っているため、未だ最新の各種材料評価には至っていないが、順次手掛けることにより、広範囲の材料に関する知見が得られるものと考えられ、今後の展開が期待される。

6. 半磁性磁気浮上体の運動光制御（阿部 G）

化学・生命のプロジェクトメンバーによる炭素材料への研究展開で、先端技術開発センターの融合テーマの位置付けにあり、ユニークな視点の研究である。光など外部刺激による磁気浮上などを念頭に、グラファイトにフォトクロミック分子修飾し、光反応実験を行った。無機物質と有機物質の融合の位置付けにもあり、今後展開が期待される。

7. 炭素系材料における格子構造による電子状態制御（古川 G）

バラエティに富む炭素系の格子構造由来の電子状態に着目し、電子状態制御を探索し、デバイスへの応用を探るプログラムである。スピン軌道相互作用による電気磁気効果、トポロジカル相転移、電磁波応答・制御など上記3) 4) 5) 8) のテーマと関連する研究である。グラフェン上の He4 ボーズアンサンブルにおけるカイラルモット絶縁体相に関する理論考察などユニークな取り組みがなされている。

8. エピタキシャルグラファイト薄膜の成長とデバイス（黄 G）

グラフェン、グラファイトの成長技術をベースに、センサーや燃料電池などいろいろなデバイスへの展開を研究している。特に発想がユニークであるのが、アンテナへの取り組みである。元々ITO に替わる透明電極としての期待もあったこの材料を、透明アンテナを想定して、高周波アンテナ特性を初めて計測した研究など着眼点の鋭いユニークな研究に発展している。これも電波吸収などと併せて、青山学院大の得意分野としての展開が期待される。

まとめ

いずれも見かけだけの連携でなく優れた研究が進みつつあり大きく期待される。全般に関し、今回若干課題もあり、下記の指摘が出された。

年限も数年から5年のレベルで、各テーマは遂行途上にあり、各々は極めて高レベルであるが、まだ有機的な繋がりを模索するレベルには、少々未達感がある事。人材育成

で博士以外の学生の状況の把握が出来ず、残念であった事。などが指摘された。これで終わることなく、今後継続して連携研究の加速をすることで、また国内外の他大学・研究機関との連携も強化することで、大きな成果に繋がるものと、確信される。

外部資金による研究プロジェクト「ヘテロエピダイヤモンド基板生産技術開発」

ダイヤモンド応用の基盤となる大型ダイヤモンドを目指した産学連携プロジェクトで、ダイヤモンドでは老舗企業のアダマンド並木精密宝石(株)が中心となって、青学大のヘテロエピ技術の実用化を目指したものである。ダイヤモンドは熱膨張係数が小さく、また高温合成のため、ヘテロエピの基板となる材料と整合が悪く、特に大面積、厚膜にしたときに歪で大きな反りが発生する課題がある。本プロジェクトでは針状のダイヤの上に成長し、コアレスするという極めて大胆な発想による取組みにより、解決したものである。最も懸念される結晶性に関して、(004)面のX線ロックングカーブFWHMが 0.034° というのは、およそプロセスから想像される域を超えた優れた数値である。

評価委員からは、利用価値の広い材料で重要な開発であり早期事業化へ高い期待が寄せられた。中間評価でも指摘されたが、ダイヤモンドに限らず、応用事に最適化した材料を開発する必要がある、なるべく早い時期に参入しやすい市場へのトライアルを開始することを提案する。これにより、さらなる改良を施した実用性の高い大面積ダイヤモンドウエハの実現に成功するものと思われる。プロセスのユニークさから、他社で追従不可能な独自の発展を遂げるのではないかとと思われる。

なお、用途毎のダイヤモンド材料開発過程で基礎に立ち戻って見直すようなケースも多く想定され、澤邊研などとの連携を、今後とも密にして、進められることを提案する。

外部資金による研究プロジェクト「実働分子マシン」

原子・分子レベルで機械を組み立てる「分子マシン」の実現は、チャレンジングなテーマである。本プロジェクトは、高速フォトクロミック分子を基軸として実働分子マシンをボトムアップ的な手法により創出することを目的としている。成果としては、分子マシンは得られていないが、新しいフォトクロミック分子が作られており優れた研究成果が得られているといえる。たとえば、一分子内に正フォトクロミズムを示すユニットと逆フォトクロミズムを示すユニットを組み込んだバイフォトクロミック分子などが新たに開発されている。この分子に光強度の異なる可視光を照射することで着色状態の色調を変えることに成功している。これらは、新規な一群のフォトクロミック分子であり、世界を先導する成果であり、関連分野に大きなインパクトを与えている。また、優れた論文も多数発表されており、若手の人材も育成されている。今後の方向性としては、分子の自己組織化による分子の動きが増幅された分子マシンなどの構築へ向かっての発展が期待される。