

## 研究主幹総評および領域活動概要

### I. 評価の概要

対象領域：戦略的国際共同研究プログラム（SICORP）

日独共同研究「ナノエレクトロニクス」

対象期間（プログラム実施期間）：2010年～2015年3月末日

### II. 研究主幹総評

従来の国際協力事業が、ワークショップや情報交換・交流など、研究の側面支援的性格に限定されていたのに対し、設備などの費用も含み、それだけで自立して研究を遂行できる全面支援の枠組みを戦略的国際共同研究プログラムとして開始することとなった。日本とドイツの間では、戦略的国際科学技術協力推進事業の中で以前から「ナノエレクトロニクス」をキーワードとする共同研究事業が継続的に行われており、本事業はこの状況を背景として、この新しい枠組みを使った最初のプログラムである。

2009年7月末を締め切りとして研究課題の募集が行われた。応募19件について書類選考（ボン）、面接選考（東京）を日独合議によって行い、以下に述べる3テーマを選出した。募集時には、半導体、ナノチューブ、分子、ナノフォトニクスなど、「ナノ」と「エレクトロニクス」を組み合わせた広い分野を想定し、実際、応募提案もこれらの分野に広く分布しており、予断を持って審査に臨んだわけではない。しかし、最終的に選ばれたテーマはいずれも「スピン」に深く関わる分野であり、時代の潮流が反映された結果であると思われる。

採択された課題は以下の通りである。

1. 先端スピントロニクス材料と伝導現象（ASPIMATT）
2. トポロジカルエレクトロニクス（Topotronics）
3. ダイヤモンドの同位体エンジニアリングによる量子コンピューティング（ダイヤモンド）

いずれの研究課題も、日独両国の先端研究者グループより提案されたものであるが、協力関係はそれぞれかなり異なり、国際共同研究の多様な側面を見せるとと

もに、問題点も浮き彫りにした。課題ごとの実施内容の概要を以下に述べる。

1. **ASPIMATT** : スピントネル素子などで実績のある日本グループとホイスラー合金で世界のトップにあるドイツグループより構成されるチームである。デバイスと材料のノウハウを持ち寄って、実用的な性能指数を持つ素子を作ることを目標とした。ホイスラー合金がハーフメタルであることを確立し、注入スピン偏極率の飛躍的向上など、応用に直結する成果を挙げた。この成果は、日本グループでは企業との連携や他のプロジェクトへと結びついた。ただ、非常に実用に近い研究分野であるにもかかわらず、特許の共同出願は無い。あまりに応用に近い分野では、外国グループの存在が却って権利の整理を難しくする要素も背景にあると思われる。特許共同出願数が成果の指標としてふさわしいかどうか、再考の要があると思われる。

本チームの特筆すべき活動として、若手育成の努力が見逃せない。毎年開かれる日独合同ワークショップに先立つ数日をスクールとし、ワークショップに参加する両国の大学院生・若手研究者に分野の最新の科学・技術を教授した。聴講生は、引き続きワークショップの進行にも深く関わり、知識のみならず強い人的繋がりを得たと思われる。このような経験は参加者の今後の資産となるであろう。

2. **Topotronics** : 波動関数の幾何学的な条件によって電子状態がクラス分けされ、クラス間の遷移に制約が課せられる（トポロジカルに保護された状態）ことによって散逸の無いエレクトロニクスを実現しようとする提案である。クラス分けの重要な指標がスピンの方向であり、スピントロニクスと深く関わる。日本では通常の化合物半導体を、ドイツではゼロギャップ半導体を舞台として研究されてきたが、背景となる物理は共通であるので、両国の各分野のトップグループが協力することによって研究を一層加速させた。日本グループの理論メンバーは、全体をカバーする新しい視点を提供することによって、常にチームの一体感を醸成した。また、人的交流を伴う技術移転は両グループの実験を充実させた。半導体中の電子スピンに働く実効磁場の精密な検出と制御、スピン構造の特異点の運動学、スピンもつれ状態の操作など、本事業を通じて発表された研究成果は質量共に顕著であって、この分野に十分な貢献をした。
3. **ダイヤモンドの同位体エンジニアリングによる量子コンピューティング** : ダ

ダイヤモンドの空孔と置換窒素原子の対（NV センター）に束縛された電子と周辺核によるスピン状態が高度に環境から隔離されているために、室温でも確定した量子状態にあり、これが光によって操作可能なことを利用して、量子計算素子を作ろうとする提案である。提案時にドイツで世界最先端の計測手法が開発されつつあり、このグループと日本のダイヤモンド結晶合成技術の相補的な組み合わせとして提案された。日本グループの目標は、炭素の同位体も含む不純物を極限まで除去した単結晶を作ることである。プロジェクト全体としては、分野を牽引する多くの成果を挙げたが、日本が作成した高純度単結晶を使ったドイツのデバイス実証には、研究期間中に至らなかったことは残念であった。相補的に仕事を分担することは共同研究の重要な動機付けであるが、あまりに明確な役割分担が知見や成果の共有を難しくしたのではないかと考える。ただ、ダイヤモンド中の欠陥としては、SiV などが新たに注目されており、本事業で見出された高純度ダイヤモンドの結晶成長技術は今後も活用されるであろう。

表：各チームの主な成果（研究期間中に国際論文誌に発表された論文数と特許出願数）

T チーム名【研究期間】	日独共著	日本単独	ドイツ単独	特許出願数
ASPIMATT【2010/4～2015/3】*	24 (17)	130 (79)	57 (25)	2 (0)
Topotronics【2010/2～2015/3】*	10 (6)	90 (31)	27 (13)	0
ダイヤモンド【2010/2～2013/3】**	3 (19)	6 (4)	37(7)	1 (0)

\*2010～2015/3 の論文・特許出願数（うち、延長期間 2013/4～2015/3 の論文・特許出願数）

\*\*2010～2013/3 の論文・特許出願数（支援期間終了後 2013/4～2015/3 の論文・特許出願数）

宮野 健次郎 物質・材料研究機構 フェロー

### III. 領域活動概要

時期	活動
H19.4	SICPにより、DFGと「ナノエレクトロニクス」分野で1回目公募開始 8課題を採択・支援（H19～H22）
H20.2	SICPにより、DFGと「ナノエレクトロニクス」分野で2回目公募開始 8課題を採択・支援（H20～H23）
H21.1	SICPにより、DFGと「ナノエレクトロニクス」分野で3回目公募開始 7課題を採択・支援（H21～H24）
H21.4	DFGとのMoU締結
H21.6	公募開始
H21.7	提案締め切り
H22.2	採択決定
H22.2～4	研究開始
H23.11	日本ードイツ合同ワークショップ「スピンと量子情報」
H24.11	延長評価による延長課題の決定
H27.3	研究終了