

# 日中韓フォーサイト事業 平成18年度 実施報告書

## 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学
中国側拠点機関：	清華大学
韓国側拠点機関：	ソウル国立大学

## 2. 研究交流課題名

(和文): サブ10nm ワイヤ ; その新しい物理と化学  
(交流分野 : ナノサイエンス )

(英文): sub-10nm wires ; new physics and chemistry  
(交流分野 : Nanoscience )

研究交流課題に係るホームページ : <http://www-surface.phys.s.u-tokyo.ac.jp/a3foresight/>

## 3. 交流実施期間 (業務委託期間)

平成18年 4月 1日 ~ 平成19年 3月31日

## 4. 実施体制

### 日本側実施組織

拠点機関 : 東京大学

研究代表者 (所属部局・職・氏名) : 大学院理学系研究科・助教授・長谷川修司

協力機関 : 東京理科大学、理化学研究所、岡山理科大学、物質・材料研究機構、  
名古屋大学、大阪大学、早稲田大学、(株)日立製作所、産業技術総合研究所  
東北大学、青山学院大学

事務組織 : 東京大学理学系研究科等事務部

### 相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 中国側実施組織

拠点機関 : (英文) Tsing-Hua University

(和文) 清華大学

研究代表者 (所属部局・職・氏名) : (英文) Department of Physics・Professor・XUE, Qi-Kun

協力機関：(英文) Peking University、Beijing University of Technology、  
Institute of Physics (The Chinese Academy of Sciences)  
(和文) 北京大学、北京工科大学、物理研究所(中国科学院)

(2) 韓国側実施組織

拠点機関：(英文) Seoul National University  
(和文) ソウル国立大学

研究代表者(所属部局・職・氏名)：(英文) Department of Physics・Professor・KUK, Young

協力機関：(英文) Ajou University、Gwangju Institute of Science and Technology、  
Pohang University of Science and Technology、  
Hanyang University、Korea University、Yonsei University  
SAIT、Cheju National University

(和文) 亞洲大学、光州科学技術院、浦項工科大学、漢陽大学、高麗大学、  
延世大学、サムスン総合技術院、国立済州大学

## 5. 日中韓フォーサイト事業としての全期間を通じた研究交流目標

本計画の目的は、日本・中国・韓国での当該分野の研究者の交流・共同研究を通じ、原子鎖・分子鎖やシリサイドナノワイヤ、カーボンナノチューブなど、さまざまな種類の「サブ10nm幅のナノワイヤ」に関し、それらの作成・合成、物理的・化学的特性、および機能化などについて包括的な研究を行うことにある。これら3国には、この分野で極めてアクティブな研究を行い、世界をリードしている研究者が多数いるので、それらの研究者が密接に情報交換、研究者・試料の相互交換および共同研究などの交流を促進することにより、さらに実り多い成果が期待でき、この分野での欧米を凌駕した優位的立場を維持することができると考えている。本計画では参加研究者が一同に会するシンポジウムを3回計画しており、そこでの相互啓発と議論は研究進展のために極めて貴重な機会となる。本計画では上述のナノワイヤのデバイスへの応用展開など具体的な応用を目指すわけではないが、本計画によって進められる基礎的研究は、そのような応用研究にも極めて重要な知見をもたらすものと信じている。具体的には、下記の形態での研究交流を計画している。

### 1. 全体セミナーの開催

日本(平成17年度)、韓国(平成18年度)、中国(平成19年度)でメンバー全員が参加する全体セミナーを開催し、相互交流をはかり、共同研究の契機を作る。

### 2. トピックス別研究集会の開催

研究テーマの近いメンバーが集まり、他の国際会議等のサテライト・ミーティングとして小規模の研究集会を随時開催し、研究交流を促進する。

### 3. 相互訪問・共同実験の促進

相互訪問・滞在によって、メンバーの研究室の所有する実験機器などを相互に利用し、研究の幅をお互いに広げる。

### 4. 論文集の発刊

このプログラムでの共同研究・相互交流の成果を論文集または単行本として出版する。

## 6 . 平成 1 8 年度の研究交流実績の概要

### 6 - 1 共同研究

平成 17 年度に開始された各グループ間の共同研究の継続・発展とともに、新しい組み合わせでのグループ間の共同研究を積極的に進めた。具体的には下記のような共同研究・研究交流を行った。

東京大学 清華大学・物理研究所(中国): 表面ナノ磁性および電子輸送に関する共同研究のため、物理研究所から研究員を東京に長期に派遣・受け入れ(東京大学研究支援員) 共同実験を行った。平成 19 年度から、その研究員は物性研究所機関研究員として共同研究を続ける予定である。

東京大学 ソウル国立大学: 極低温型走査トンネル顕微鏡・分光法の共同実験のため、大学院生などが相互に訪問・滞在し、お互いの実験技術を伝授しあい、共同研究を行った。

東京大学・大阪大学 高麗大学: カーボンナノチューブからの電子の電界放射特性・走査トンネル顕微鏡探針作成のための電気伝導特性の研究のための共同研究を実施した。  
名古屋大学 ソウル国立大学: カーボンナノチューブやピーポッドの試料提供および走査トンネル顕微鏡での電子状態の共同研究を継続した。

東京大学 高麗大学: カーボンナノチューブの角度分解光電子分光測定のために、長尺高配向の試料作成を行い、東京でその測定を行った。

東京理科大学 北京大学: 単一カーボンナノチューブの光物性の研究のため、試料作成・提供および顕微ラマン・発光計測を共同で行った。

東京大学 延世大学: 表面ナノワイヤ構造の電子状態と相転移の研究のため、相互に大学院生などを派遣して共同実験を行った。特に、東京大学で博士の学位を取得した研究者を延世大学が Research Professor として雇用して継続的な共同研究を始めた。

早稲田大学 岡山理科大学 延世大学: ナノチューブや 1 次元ナノ構造に関する理論的研究を共同で行った。

### 6 - 2 セミナー

(1) セミナー: 韓国・済州島で開催された全体会議(2007 年 2 月)のほか、2006 年 10 月には、東京大学物性研究所で開催された国際シンポジウム「Nanoscience at Surfaces」において特別セッションを行った。また、その直後、日光に移動し、A3 メンバーだけのセミナーを行い、研究状況を報告して討論した。

(2) 若手研究者育成活動

若手研究者育成として、研究者交流・共同研究のほかに下記の活動を行った。下記の活動には、本プログラムの参加グループ以外からも参加を認め、研究者コミュニティに対して貢献した。また、上記セミナーにおいても、若手研究者の発表をメインにし、また、若手研究者がセッション座長を務めて議論をリードする形式をとった。これら

の活動を通して、大学院生を含む若手研究者どうしの交流が促進され、彼ら独自のネットワーク構築がなされつつある。

サマースクールの開催：2006年6月、韓国・ソウル国立大学でナノサイエンスに関するサマースクールを開催し、日本から講師および参加学生などを派遣した。そのテキストを単行本として海外出版社(Scientific Korea)から出版する（現在、編集・印刷中）。このサマースクールの開催およびテキストの出版をA3プログラム実施期間中継続的に行うことを確認した。

Tutorial Papers の執筆・出版：ナノサイエンスに関する教科書的なレビュー記事を本プログラムの参加研究者によって執筆し、e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 誌（日本表面科学会刊行の英文電子ジャーナル）に掲載して、大学院生などの若手研究者の教科書にすることを決めた。現在、執筆依頼および部分的に執筆を開始している。

### 6 - 3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

それぞれの研究グループが、相互訪問・滞在し、共同研究を目指した研究者交流を積極的に進めた。具体的には、清華大学、北京大学、高麗大学、延世大学などから研究者を招聘した。

## 7. 平成18年度の研究交流の成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めて下さい。)

### 7-1 研究協力体制の構築状況

#### (1) 研究者派遣による研究協力体制の構築：

日中韓相互に研究者を派遣して、共同研究を進める具体的な計画を立て、実行に移した。

#### (2) 実験試料の提供による研究協力体制の構築：

高麗大学から東京大学へ実験試料（高品質ダブルウォールカーボンナノチューブ、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ）が提供され、東京大学での電気伝導および光電子分光の実験に活用された。また、名古屋大学からソウル国立大学にも試料（ピーポッドナノチューブ）が提供され、低温型走査トンネル顕微鏡による計測が行われた。また、東京大学での実験結果の解釈に対して、中国物理研究所で理論的解釈がなされた。さらなる共同研究の促進のため、済州島での全体会議(2007年2月)において、具体的な共同研究の立案を議論した。

#### (3) サマースクールへの講師派遣：

ソウル国立大学で開かれたナノサイエンス関連のサマースクール(2006年6月)に、早稲田大学から講師(塚田捷教授)を派遣した。このサマースクールは若手研究者や大学院生を対象とし、その基礎的な事項を講義すると同時に最先端の研究状況の紹介を行った。また、学生を含む若手研究者間の交流も促進された。

### 7-2 学術面の成果

(1) 清華大学での表面ナノ磁気計測の経験と東京大学での表面ナノ電気伝導・角度分解光電子分光計測を組み合わせ、表面ナノ磁気抵抗効果の研究を開始した。特に、シリコン結晶表面上に成長させた銀超薄膜の表面上に1/3原子層のビスマスを蒸着すると、 $3 \times 3$ 表面構造が形成されることを見出した。さらに、その表面電子状態を光電子分光法で測定した結果、バンドが分裂していることがわかった。これはラシュバ効果によるスピン・軌道相互作用の結果と解釈できる。この状態で、さらに磁性原子を極微量だけ吸着させると、表面強磁性が実現できる可能性があり、スピントロニクスにも応用可能な表面磁性研究に発展すると期待している。その磁性状態を次年度に中国側研究者とともに測定する予定である。

(2) 名古屋大学でのナノカーボン試料作成技術とソウル国立大学での極低温型走査トンネル顕微鏡での計測技術を結合し、ナノチューブの太さやピーポッド構造による電子状態の違いを明らかにする研究を行った。これは、ナノチューブの1次元電子系についての基礎物性の研究として重要であるばかりでなく、ナノチューブデバイスの基礎研究としてもきわめて重要である。

(3) 高麗大学および北京大学での高品質カーボンナノチューブの作成技術と東京大学で

の高分解能角度分解光電子分光法および電気伝導による計測技術を結合し、カーボンナノチューブの電子バンド構造の詳細を明らかにできる条件を見出した。つまり、真空中での適温での加熱によってナノチューブ表面を清浄化すると、ナノチューブ本来の電子状態が見えてくることがわかった。また、大阪大学との共同研究も行い、導電性の良好な金属被覆型カーボンナノチューブ探針を作るには、マルチウォールカーボンナノチューブが適していることがわかった。これは、ナノチューブ最外層が金属被膜と化学反応して破壊されてしまうためであることがわかった。

### 7 - 3 若手研究者養成

- (1) 2006 年夏にソウル国立大学で、若手研究者・大学院生のためのナノサイエンス・サマースクールが本プログラムの韓国側研究代表者によって主催された。日本側から若手研究者を受講させるのと同時に、日本側の参加研究者（早稲田大学 塚田捷教授）を講師として派遣した。このサマースクールで知り合いになった若手研究者どうしが、2006 年秋に日光で再会し、さらに親しくなった。このような若手研究者どうしがお互いによく知り合いになることは、10年20年後の研究者ソサイエティのなかで貴重な財産になると期待できる。
- (2) 上記のような若手研究者を対象にしたスクールを毎年1回程度開催し、そのテキストを単行本として出版することを決めた。これは、西欧でよく行われているサマースクールのテキストを単行本としてシリーズ化しているものに匹敵する単行本シリーズをアジアからも出版しようと目論むものである。日中韓には、その執筆が可能な研究者がこの当該分野で多数いる。2006 年のスクールのテキストは、現在、編集・印刷中である。その後、インターネットで公開する予定である。
- (3) 本プログラムの日中韓の研究代表者が編集委員となっている英文ジャーナル *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*（日本表面科学会刊行）に、ナノワイヤ・ナノサイエンスに関する初学者向けの「Tutorial Papers」を掲載することになった。これは、上記のスクールのテキストなどを含むが、そのほかに代表的な研究者に執筆を依頼することになった。現在、執筆依頼を始め、部分的には執筆を開始した。

### 7 - 4 社会貢献

- (1) 上記のように、若手研究者および大学院生を対象としたナノサイエンスに関するサマースクールを毎年1回開催すると同時に、そのテキストを出版公開することで、本プログラムの参加研究室だけでなく、関連する分野の若手研究者の育成のために貢献する。現在、この活動を A3 プログラム終了後も継続する可能性について、メンバー間で議論を進めている。
- (2) 2006 年 10 月 9 日～13 日に東京大学物性研究所で、本プログラムの参加者が主催する第 10 回 ISSP 国際シンポジウムにおいて特別セッションを行い、本プログラムの中国

韓国参加者を招待講演者として招聘すると同時に、中国韓国からの若手研究者も多数招聘し参加させた。日中韓の若手研究者同士のネットワークが構築されつつあり、これはこの分野の5年10年後に貴重な財産となると思われる。また、A3プログラムというシステムが上記国際シンポジウム参加者に広く認知されることとなった。

#### 7 - 5 今後の課題・問題点

- (1) 費用負担の仕方：昨年度も述べたが、今年度も同じことを強く感じたので再掲する。研究交流および共同研究のために日本側研究者が中国・韓国を訪問して滞在する場合、渡航費のみを日本側が負担し、先方での滞在費は相手国側が負担することになっている。しかし、このシステムでは、訪問・滞在自体が相手国側の予算を圧迫することになり、日本側研究者が積極的に渡航しなかった理由の一つと考えられる。特に中国では、A3プログラムのファンドが通常の研究ファンドに込みで配分されているので、A3プログラムでの交流経費がかさむと研究経費を圧迫することになるという。より活発な相互交流を促進するためには、この費用負担の仕方を改める必要を感じた。つまり、日本側から相手国を訪問する場合、相手国に滞在費用を負担をかけないようにもできるシステムとして欲しい。学振で是非検討して欲しい。
- (2) 若手育成に関して：当プログラムは、若手育成と若手どうしのネットワークの構築を最重要趣旨の一つに挙げている。大学院生を含む若手研究者の間のネットワークが構築されれば、10年20年後の研究者コミュニティの中で貴重な財産となると考えられるので、本プログラムの最も重要な使命は、日中韓での若手研究者間のネットワーク作りとしたい。これは、3年程度で共著論文となる研究成果より、はるかに重要であろう。欧米では、国をまたいで教授同士が若手研究者の時代からお互いによく知っているという場合が多く、そのようなネットワークを若手時代から築いているのが彼らの最大の強みとなっている。アジアでもそのような人的ネットワーク作りを10年20年かけて行うべきと考える。本A3プログラムでは、現在教授になっているメンバーどうしの交流より、大学院生を含む若手研究者どうしのネットワーク作りを重視している。

#### 7 - 6 本研究交流事業により発表された論文

平成18年度論文総数 7本

うち、相手国参加研究者との共著 3本

うち、本事業がJSPSの出資によることが明記されているもの 5本

( 論文リストを別に添付して下さい )

## 8 . 平成 1 8 年度における総交流人数・人日数

### 8 - 1 相手国との交流実績

(単位：人／人日)

派遣先 派遣元		日本	中国	韓国	合計
		日本		11/61	63/200
	実績		0/0	33/180	33/180
中国	実施計画	24/146		( 35/130 )	24/146
	実績	12/112		( 39/156 )	12/112
韓国	実施計画	21/90	( 10/30 )		21/90
	実績	20/144	( 5/15 )		20/144
合計	実施計画	45/236	11/61	63/200	119/497
	実績	32/256	0/0	33/180	65/436

各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

日本側予算によらない交流(中国 韓国間の交流)についても、カッコ書きで記入してください。

### 8 - 2 国内での交流実績

実施計画	実 績
36 / 132 (人 / 人日)	41 / 117 (人 / 人日)