

## 日中韓フォーサイト事業 平成 25 年度 実施報告書

### 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学大学院理学系研究科
中国側拠点機関：	復旦大学
韓国側拠点機関：	ソウル大学校

### 2. 研究交流課題名

(和文)： 新機能を有する複合酸化物の開発と電子状態の解明  
(交流分野： 先端材料分野 )

(英文)： Joint research on novel properties of complex oxides  
(交流分野： Advanced Material Science )

研究交流課題に係るホームページ：

<http://www.physics.fudan.edu.cn/tps/people/dlfeng/Eng/A3.html>

### 3. 採用期間

平成 20 年 8 月 1 日～平成 25 年 7 月 31 日

( 6 年度目 )

### 4. 実施体制

#### 日本側実施組織

拠点機関：東京大学大学院理学系研究科

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：大学院理学系研究科・研究科長・相原 博昭

研究代表者（所属部局・職・氏名）：大学院理学系研究科・教授・藤森 淳

協力機関：産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構

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) Fudan University

(和文) 復旦大学

研究代表者（所属部局・職・氏名）：(英文) Department of Physics・Professor  
・ Donglai Feng

協力機関：(英文) University of Science and Technology of China

(和文) 中国科学技術大学

(2) 韓国側実施組織：

拠点機関：(英文) Seoul National University

(和文) ソウル大学校

研究代表者 (所属部局・職・氏名)：(英文) Department of Physics and Astronomy・  
Professor・Je-Geun Park

協力機関：(英文) Yonsei University

(和文) 延世大学

## 5. 全期間を通じた研究交流目標

本研究の目標は、日本、中国、韓国の研究者による複合遷移金属酸化物の研究ネットワークを構築し、積極的な試料提供、研究参加、情報交換等を通じ、共同で当該物質群における新現象・新機能の開拓、評価、さらには発現メカニズムの解明をおこなうことである。

遷移金属を構成要素とする複合酸化物は、ここ20年の先端材料研究における中心課題として集中的な研究が行われている。その理由は、これらの物質群で出現する「高温超伝導」や「巨大磁気抵抗」といった特異な物性・現象が、従来の物性物理の枠組みによる理解を超えたものであり、新しい研究分野の始まりを告げるものとして認識されたこと、又、これら新機能がエレクトロニクス応用への端緒として期待されたことによる。近年においても、「マルチフェロイック」「スピン3重項超伝導」「巨大熱起電力」といった新現象・新機能が次々と発見されており、複合酸化物の研究は今後も進展、拡大を続けていくと考えられる。

日本は従来、当分野において世界をリードする立場を維持していたが、今後もトップレベルの研究を継続、発展させるためには、多様な物質群をカバーした物質開発および多面的な物性評価が必須である。当分野の急速な進展、特に応用展開をも視野に入れた国際的な競争の激化を考えると、単一グループによる研究体制の維持は実質上不可能であり、今後は、様々な特長を有する研究者・グループが参加するネットワーク型の共同研究が主流となることは明らかである。本研究はその潮流の先鞭を切るものとして、複合酸化物の試料合成、物性評価、更に理論的解析において世界をリードする日中韓の研究者・研究グループによって構成されている。参加研究者が連携し、共同研究を行うことにより、複合酸化物における物質開発、物性探索を行うことを目標としている。

本共同研究は、当初3年間に引き続き、物質面においては、3d、4d、5d複合酸化物のバルク単結晶及び薄膜試料を、測定面においては、エネルギー領域としては直流の伝導特性から硬x線分光までを網羅する。又、J-PARC (高エネルギー加速器研究機構) において本事業参加研究者(門野・小嶋グループ) が中心となって開発してきた $\mu$ SR測定施設が稼働を始め、超伝導体や磁性体のマイクロな磁氣的性質を詳細に調べる体制が整ったこともあり、最終年度を含む2年間においては、J-PARCでの $\mu$ SR測定や、J-PARC内部に隣接された、 $\mu$ SR測定と同様に磁氣的性質を検証する実験手法である中性

子散乱施設での実験も行う。このように、過去3年にはなかった、磁氣的性質の検証という観点が加わったことにより、より多角的に、本研究の対象物質の評価、メカニズムの解明を行う。

## 6. 平成25年度研究交流目標

### ○研究協力体制の構築

H24年度に引き続き、中韓の大学院学生を東大・産総研に数ヶ月単位で受け入れ、単結晶育成をはじめとする共同研究を遂行する。

### ○学術的観点

#### 1. 銅酸化物高温超伝導体の電子状態の解明

H24年度までに作成された電子ドーピング型高温超伝導体単結晶に対して系統的なARPES実験を行い、同物質におけるキャリアドーピング・還元・希土類置換の効果を明らかにし、超伝導出現に本質的なパラメータを抽出する。又、FZ法を用いた無限層銅酸化物超伝導体単結晶の育成を試みる。

#### 2. 層状4d、5d遷移金属酸化物の電子状態の解明と新機能遷移金属酸化物の開発

ペロブスカイト二重層を有する4d、5d遷移金属酸化物 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ を対象とした単結晶育成を行い、同試料を用いて、ドーピングや結晶乱れによって引き起こされる電子状態の変化を評価し、得られた結果を電子相図として纏める。

### ○若手研究者育成

本事業で学位を取得した若手研究者を本事業参加諸機関においてポスドクとして雇用し、長期に渡って研究を行う体制の構築に努める。

## 7. 平成25年度研究交流成果

(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ください。)

### 7-1 研究協力体制の構築状況

H25年度は前年度に引き続き、韓国延世大学からポスドク研究員、および大学院学生を産総研に3週間にわたって招聘し、帯域溶融法による単結晶育成、および超高压下輸送現象測定等が行われた。

また最終年度の総括として、韓国ソウル大学校、延世大学からそれぞれ教授を招聘し、高温超伝導体をはじめとする機能性酸化物単結晶の育成に関する研究成果報告とそれに伴うディスカッション、情報交換を行った。

### 7-2 学術面の成果

#### 1. 鉄系超伝導体の新物質開発と超伝導機構解明

USTC および産総研が中心となり、純良単結晶・多結晶試料の合成を行った。同試料を用いて輸送現象（東京大学、USTC）、結晶構造解析（産総研）、遠赤外-紫外光学反射率（東京大学）、光電子分光（ソウル大学校、延世大学、東京大学、復旦大学）等の実験を系統的に行い、その超伝導転移温度（ $T_c$ ）決定要因となる物性・構造パラメータを実験的に抽出した。

## 2. 銅酸化物高温超伝導体の電子状態の解明

電子ドーピング型超伝導体( $Ln,Ce$ ) $_2$ CuO $_{4-\delta}$ （東京大学、延世大学、産総研、USTC）を対象とした単結晶育成、角度分解型光電子分光および輸送現象測定を行った。スピン揺らぎと超伝導機構の関連、および超伝導出現にとって本質とされる還元アニール効果の影響に関する知見を得た。

## 3. 層状 4d、5d 遷移金属酸化物の電子状態の解明と新機能遷移金属酸化物の開発

(La,Sr) $_2$ RuO $_4$ 、(Ca,Sr) $_2$ RuO $_4$ 、(La,Sr) $_2$ RhO $_4$ を対象とした良質大型単結晶育成技術を確立し、同物質群においてドーピングや結晶乱れによって引き起こされる電子状態の変化を光電子分光測定、光学反射率、軟 x 線共鳴散乱等によって評価し、得られた結果を電子相図として纏めた。得られた知見を元に、4d、5d 遷移金属酸化物における物質探索を行い、新機能出現の可能性を検討した。（ソウル大学校、延世大学、東京大学、産総研）

### 7-3 若手研究者育成

韓国・延世大学の大学院生が産総研に滞在し、産総研が所有する決勝育成装置を用い、鉄系超伝導体、銅酸化物超伝導体、4d、5d 遷移金属酸化物の単結晶試料の作製を行った。

### 7-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

日本側研究者が東北大・金属材料研究所で行われたワークショップ“Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies”に参加し、本事業の成果を発信した。また、韓国側参加機関から若手研究者を招聘し、日韓間の活発な研究交流が行うとともに、日本側研究者を中国に派遣し共同研究を行い、今後の国際共同研究のための基盤を拡充した。

### 7-5 今後の課題・問題点

当初予定されていた研究課題は概ね順調に遂行された。学術的には前述のように多岐にわたる成果を挙げることができ、また、本事業を通じて日中韓三か国の研究者間の交流は飛躍的に深まったといえる。研究期間の途中で日本、韓国側の研究代表者が変更したが、その引き継ぎはスムーズに行われた。本プログラム終了に当たり、日本学術振興会をはじめとする諸機関の配慮に感謝したい。

本事業では、研究経費の運営・管理は全て拠点機関である東京大学に委ねられていたが、実際の研究遂行に当たっては、協力機関である産業技術研究所が中韓の研究者の受け入れ

を担当し、共同研究を行うことが多々あった。研究を円滑かつ柔軟に遂行するためには、協力機関への予算の直接配算がより望ましいと考えられる。

同事業で学位を取得した中韓の若手研究者の多くは、引き続き日本の研究機関でポストクとして研究を継続することを希望している。本事業の成果をより発展させるためにも、これら若手研究者が引き続き日本で研究を行えるような制度の設立を望む。

#### 7-6 本研究交流事業により発表された論文

平成25年度論文総数 1本

相手国参加研究者との共著 0本

(※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

## 8. 平成25年度研究交流実績状況

### 8-1 共同研究

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-1	研究開始年度	平成20年度	研究終了年度	平成25年度
研究課題名	(和文) 新機能を有する複合酸化物の開発と電子状態の解明 (英文) Joint research on novel properties of complex oxides				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 藤森淳・東京大学・教授 (英文) Atushi Fujimori・University of Tokyo・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) <中国側> Donglai Feng・Department of Physics, Fudan University・Professor <韓国側> Je-Geun Park・Department of Physics and Astronomy, Seoul National University・Professor				
参加者数	日本側参加者数	38名			
	中国側参加者数	22名			
	韓国側参加者数	26名			
25年度の研究 交流活動	韓国・延世大学の学生、及びポスドクを日本側（産業技術総合研究所）で受け入れ、4d、5d遷移金属酸化物の単結晶育成など、数週間にわたる共同研究を行った。 また、韓国・ソウル大学から教授を招き、高圧合成装置を用いた多結晶育成実験を行うとともに、本事業を通しての研究成果報告と今後の課題について討議し、課題点について検討した。				
25年度の研究 交流活動から得 られた成果	上述した、下記の研究テーマに関わる成果が得られた。 1. 鉄系超伝導体の新物質開発と超伝導機構解明 2. 銅酸化物高温超伝導体の電子状態の解明 3. 層状4d、5d遷移金属酸化物の電子状態の解明と新機能遷移金属酸化物の開発				

## 8-2 セミナー

平成 25 年度は実施しなかった。

## 8-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
産業技術総合研究所・特別研究員・中島正道	中国・北京 Chinese Academy of Science	7/1-7/3	A3 の共同研究として、鉄系超伝導体の応用ポテンシャル評価のため中国側共同研究者と共同で試料作成・光学実験を行った。
京都大学大学院人間・環境学研究科・准教授・吉田鉄平	日本・東京・東京大学	6/28-6/30	鉄系超電導体についての最新の実験結果について東京大学理学系研究科藤森研において議論、打合せを行った
京都大学大学院人間・環境学研究科・准教授・吉田鉄平	日本・東京・東京大学	7/12-7/15	鉄系高温超電導体について東京大学理学系研究科藤森研において研究打合せを行った
京都大学大学院人間・環境学研究科・准教授・吉田鉄平	日本・東京・東京大学	7/19-7/21	高温超電導体について東京大学理学系研究科藤森研において研究打合せを行った
京都大学大学院人間・環境学研究科・准教授・吉田鉄平	日本・東京・東京大学	7/26-7/28	高温超電導体について東京大学理学系研究科藤森研において研究打合せを行った
東北大学大学院工学研究科・教授・小池洋二	日本・東京・東京大学	7/19-7/19	鉄系超電導体について東京大学理学系研究科藤森研において研究打合せを行った
総合科学研究機構・研究員・石角元志	日本・仙台・東北大学	7/23-7/25	“Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies”に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院理学系研究科・大学院生・徐健	日本・仙台・東北大学	7/23-7/25	“Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies”に参加し、情報収集を行った。

東京大学大学院 理学系研究科・ 助教・岡崎浩三	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・劉亮	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・堀尾 眞文	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・Leo Cristobal C. Ambolade II	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・檜原 太一	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・溝口 知成	日本・仙台・ 東北大学	7/24-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。
東京大学大学院 理学系研究科・ 大学院生・大熊 洋二	日本・仙台・ 東北大学	7/23-7/25	"Superconductivity research advanced by new materials and spectroscopies" に参加し、情報収集を行った。

## 9. 平成25年度研究交流実績総人数・人日数

### 9-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	中国	韓国	合計
日本	1		( )	( )	0/0 (0/0)
	2		1/3 ( )	( )	1/3 (0/0)
	3		( )	( )	0/0 (0/0)
	4		( )	( )	0/0 (0/0)
	計		1/3 (0/0)	0/0 (0/0)	1/3 (0/0)
中国	1	( )		( )	0/0 (0/0)
	2	( )		( )	0/0 (0/0)
	3	( )		( )	0/0 (0/0)
	4	( )		( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (0/0)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)
韓国	1	1/7 ( )	( )		1/7 (0/0)
	2	5/62 ( )	( )		5/62 (0/0)
	3	( )	( )		0/0 (0/0)
	4	( )	( )		0/0 (0/0)
	計	6/69 (0/0)	0/0 (0/0)		6/69 (0/0)
合計	1	1/7 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/7 (0/0)
	2	5/62 (0/0)	1/3 (0/0)	0/0 (0/0)	6/65 (0/0)
	3	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)
	4	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)
	計	6/69 (0/0)	1/3 (0/0)	0/0 (0/0)	7/72 (0/0)

※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についても、カッコ書きで記入してください。(合計欄は( )をのぞいた人数・人日数としてください。)

### 9-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
4/6 ( )	## # ( )	( )	( )	17/43 (0/0)

10. 平成25年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	1,452,360	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	72,370	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	1,471,652	
	その他の経費	0	
	外国旅費・謝金等に係る消費税	3,618	
	計	3,000,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		300,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合 計		3,300,000	