

日中韓フォーサイト事業 平成20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：	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. 開始年度

平成20年度 (1年目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関： 東京大学

実施組織代表者 (所属部局・職・氏名)： 大学院理学系研究科・教授・内田慎一

研究代表者 (所属部局・職・氏名)： 大学院理学系研究科・教授・内田慎一

協力機関： 独立行政法人産業技術総合研究所
東北大学

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) 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・Se Jung Oh

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、物質面においては、3 d、4 d、5 d 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。本研究において遷移金属複合酸化物の電子状態に関する包括的な情報が得られ、応用研究展開への重要な知見をもたらすと期待される。

6. 平成20年度研究交流目標

研究開始年度にあたり、11月にキックオフミーティングを開催し、研究者間の交流を促し、研究ネットワーク構築の端緒を開く。研究テーマとしては、今年の2月に発見され、日本及び中国側研究者によって活発な研究が進行中である、鉄ヒ素酸化物高温超伝導体を今年度の重点課題とする。研究者の相互訪問、実験参加を含む共同研究を通して、新物質の開発および試料合成手法の確立を行う。物性評価面においては、強磁場下輸送現象測定、強磁場中遠赤外-紫外光学反射率測定、レーザー光電子分光、シンクロトロン放射光電子分光実験といった、本事業参加グループの特長を生かした実験を共同で行うことにより、新超伝導体の電子状態および高温超伝導発現機構に対する知見を得る。又、従来から共同研究が進行中であった銅酸化物高温超伝導体、ルテニウム超伝導体に対しても、良質単結晶試料の育成と分光測定、理論的解析の連携を強化することにより、迅速かつ効率的な研究遂行を目指す。

7. 平成20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下さい。)

7-1 研究協力体制の構築状況

研究開始年度にあたり、12月に研究参加者が上海に集合し、キックオフミーティングを開催した。3日間にわたって討議を行うことにより、研究者間の交流の促進、研究ネットワーク構築をはかった。共同研究テーマとして、2008年2月に発見され、現在日中の研究者によって集中的な研究が進行中の鉄ヒ素酸化物高温超伝導体を重点課題とする事が決定された。延世大学と東京大学、産総研、及び中国科学技術大学(USTC)と復旦大学との間で、研究者の相互訪問、実験参加を含む共同研究計画が立てられ、その一部は今年度中に実効された。又、強磁場下輸送現象測定、遠赤外-紫外光学反射率測定といった、本交流事業参加グループの特長を生かした実験が開始された。鉄ヒ素系と並行して、従来から共同研究が進行中であった銅酸化物高温超伝導体に対しても、良質単結晶試料の育成と分光測定、理論的解析の連携を強化することが合意され、迅速かつ効率的な研究遂行体制が確立した。又、共同事業として、来年度行われる8th Asia-Pacific Workshop on Novel Quantum Materialsを本事業参加者が主催すること(A3ミーティングとの共同開催)、及び2009年8月に、若手研究者間の交流を図ることを目的としたサマースクールを日本で開催することを決定した。

7-2 学術面の成果

1. 鉄-ヒ素-酸化物超伝導体の物質開発と超伝導機構解明

2008年2月に発見された層状鉄ヒ素酸化物超伝導体は、銅酸化物に次ぐ高い転移温度を示す超伝導体として注目され、現在世界的に精力的な研究が行われている。本事業では、試料育成においては産総研-東大-USTC が共同研究体制を組み、新超伝導体の開発および良質の単結晶育成を行い、測定面では、輸送現象測定（東大、産総研、USTC）、遠赤外-紫外光学反射率測定（東京大学）、シンクロトロン放射光電子分光実験（ソウル大学校、延世大学、東京大学）を共同で行い、新超伝導体の電子状態および高温超伝導発現機構に対する知見を得た。

2. 銅酸化物高温超伝導体の電子状態の解明

銅酸化物超伝導体の超伝導発現機構解明は、ここ20年来の物性研究における最大のテーマであるが、本研究では、この問題に対して新しい物質のバリエーション(Bi2223、Hg1201、Hg1212、Hg1223)と新測定手法（磁場中遠赤外分光、高分解能シンクロトロン光電子分光）の組み合わせによる新知見の導出を試みた。超伝導転移温度 (T_c) が 100K を超える Bi 系超伝導体及び Hg 系銅酸化物超伝導体の単結晶試料を東京大学および産総研で作製し、それらを用いた測定が Fudan Univ. および東京大学によって行われた。又、電子ドープ型高温超伝導体（産総研作製）の詳細な光電子分光実験がソウル大学校、延世大学の研究チームによって開始され、希土類元素置換に伴う超伝導ギャップ、擬ギャップの変化が定量的に明らかになった。理論計算結果との比較から、本結果は、擬ギャップが反強磁性の位相揺らぎに起因することが示された。

3. ルテニウム、ロジウム、イリジウム酸化物の電子状態の解明と新機能 4 d 遷移金属酸化物の開発

3重項超伝導体 Sr_2RuO_4 の角度分解型光電子分光の実験が開始された。試料は産総研によって作製され、測定は Yonsei University group によって行われた。また、Seoul University group、Yonsei University group により、イリジウム酸化物がスピン-軌道相互作用に起因する新奇なもつと絶縁体であることが示された。

7-3 若手研究者養成

(1) 若手研究者の滞在

延世大学の大学院学生2名が産総研に一月間滞在し、鉄系超伝導体単結晶試料の作製を行った。

(2) 研究会、ワークショップの参加

復旦大学におけるキックオフミーティングでは、若手研究者によるポスター発表の機会を設け、研究成果の積極的発信と相互交流を促した。又、2009年8月に、若手研究者間の交流を図ることを目的としたサマースクールを日本で開催することを決定した。

7-4 社会貢献

(1) 上記のように、本プログラム参加者が主体となり、2009年7月5日より7日まで、8th Asia-Pacific Workshop on Novel Quantum Materials を開催することを決定した。本ワークショップは、強相関電子系を対象としたものとしてはアジア最大級であり、研究者間の活発な意見交換、交流が期待される。

(2) 本プロジェクトを紹介するホームページ

(<http://www.physics.fudan.edu.cn/tps/people/dlfeng/Eng/A3.html>) を開設し、本研究の成果の発信を開始した。

7-5 今後の課題・問題点

研究遂行上、特に問題はない。

7-6 本研究交流事業により発表された論文

平成20年度論文総数 2本

うち、相手国参加研究者との共著 0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 0本

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入して下さい。)

8. 平成20年度研究交流実績概要

8-1 共同研究

1. 鉄-ヒ素-酸化物超伝導体の物質開発と超伝導機構解明

2008年2月に発見された層状鉄ヒ素酸化物超伝導体について、産総研-東大-USTC が共同研究体制を組み、新超伝導体の開発および良質の単結晶育成を行った。東京大学チームの研究者が産総研に長期滞在し、単結晶育成を開始すると共に、鉄ヒ素系超伝導体の同位体効果については、USTC、産総研が互いに異なる試料育成手法を試み、両者の結果の比較、検討を行った。測定面では、輸送現象測定(東大、産総研、USTC)、遠赤外-紫外光学反射率測定(東京大学)、シンクロトロン放射光電子分光実験(ソウル大学校、延世大学、東京大学、復旦大学)をが開始され、鉄ヒ素系超伝導体の電子状態の異方性や母物質で観測される反強磁性の起源に関する知見が明らかとなった。

2. 銅酸化物高温超伝導体の電子状態の解明

銅酸化物超伝導体の超伝導発現機構解明は、ここ20年来の物性研究における最大のテーマであるが、本研究では、東京大学および産総研で作製されたBi系超伝導体及びHg系銅酸化物超伝導体の単結晶試料を用いた光電子分光測定がFudan Univ. および東京大学研究チームによって行われた。又、延世大学に所属する大学院学生が産総研に長期滞在し、電子ドープ型高温超伝導体の単結晶育成、評価を行った。得られた試料を用いた詳細な光電子分光実験がソウル大学校、延世大学の研究チームによって開始された。

3. ルテニウム、ロジウム、イリジウム酸化物の電子状態の解明と新機能4d遷移金属酸化物の開発

3重項超伝導体 Sr_2RuO_4 の角度分解型光電子分光の実験が開始された。試料は産総研によって作製され、測定はYonsei University groupによって行われた。

8-2 セミナー

12月7日から9日にかけて、復旦大学においてキックオフミーティングを開催し、各研究グループの研究内容の紹介を行うと共に、今後の共同研究体制について具体的な計画を立てた。(プログラム添付) 又、2009年7月5日より7日まで、8th Asia-Pacific Workshop on Novel Quantum Materials を本プログラム参加者が主体となって開催すること、及び2009年8月に、若手研究者間の交流を図ることを目的としたサマースクールを日本で開催することを決定した。

8-3 研究者交流 (共同研究、セミナー以外の交流)

該当無し

9. 平成20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

(単位：人/人日)

派遣元 \ 派遣先		日本	中国	韓国	合計
		日本		14/60	0/0
日本	実施計画		14/60	0/0	14/60
	実績		14/60	0/0	14/60
中国	実施計画	0/0		0/0	0/0
	実績	0/0		0/0	0/0
韓国	実施計画	0/0	(13/65)		(13/65)
	実績	0/0	(13/65)		(13/65)
合計	実施計画	0/0	14/60 (13/65)	0/0	14/60 (13/65)
	実績	0/0	14/60 (13/65)	0/0	14/60 (13/65)

※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・日数としてください。)

9-2 国内での交流実績

実施計画	実績
0/0 (人/人日)	0/0 (人/人日)

10. 平成20年度研究交流実績状況

10-1 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23年度
研究課題名	(和文) 新機能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) 内田慎一・東京大学・教授 (英文) Shin-ichi Uchida・University of Tokyo・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<中国側> Donglai Feng・Fudan University・Professor <韓国側> Se Jung Oh・Seoul National University・Professor				
交流人数 (※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、カッコ書きで記入のこと。)	① 相手国との交流				
	派遣先	日本 (人/人日)	中国 (人/人日)	韓国 (人/人日)	計 (人/人日)
	派遣元				
	日本		0/0	0/0	0/0
	実施計画				
	実績		0/0	0/0	0/0
	中国	0/0		0/0	0/0
	実施計画				
	実績	0/0		0/0	0/0
	韓国	0/0	0/0		0/0
	実施計画				
	実績	0/0	0/0		0/0
	合計	0/0	0/0	0/0	0/0
	実施計画				
	実績	0/0	0/0	0/0	0/0
	② 国内での交流 0/0 人/人日				
20年度の研究 交流活動及び成 果	研究開始年度にあたり、研究者間の積極的交流により研究ネットワークの構築が図られた。研究テーマとしては①鉄-ヒ素-酸化物高温超伝導体、②銅酸化物高温超伝導体に重点を置いた研究が行われ、韓国側研究参加者が日本で単結晶育成を行う等、共同研究が実際に開始された。測定面においては、強磁場下輸送現象測定、強磁場中遠赤外-紫外光学反射率測定、シンクロトロン放射光電子分光実験が開始された。今年度は多数の国際会議や学会が開催され、本事業参加者の交流が様々な機会で行われた為、研究旅費を使用しない形での共同研究遂行が可能であった。				
日本側参加者数					
	17 名	14-1 (日本側参加者リストを参照)			
中国側参加者数					
	25 名	14-2 (中国側参加研究者リストを参照)			
韓国側参加者数					
	13 名	14-3 (韓国側参加研究者リストを参照)			

10-2 セミナー

—実施したセミナーごとに作成してください。—

整理番号	S-1		
セミナー名	(和文) JSPS 日中韓フォーサイト事業キックオフミーティング		
	(英文) J S P S A 3 Foresight Program the first A3 workshop		
開催時期	平成20年12月 7日 ~ 平成20年12月 9日 (3日間)		
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 中国、上海、復旦大学		
	(英文) China, Shanghai, Fudan University		
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 内田慎一・東京大学大学院理学系研究科・教授		
	(英文) Shin-ichi Uchida・Graduate School of Science, Tokyo University・Professor		
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	Donglai Feng・Fundan University・Professor		
参加者数	①日中韓フォーサイト事業の経費を受けて参加した人数・人日数 (その内、共同研究経費により支給したものについては、カッコ内にも記入のこと)		計
	日本側参加者	14/60 (/) 人/人日	14/60
	中国側参加者	0/0 (/) 人/人日	(/)
	韓国側参加者	0/0 (/) 人/人日	人/人日
	②本事業の経費の支給を受けずに参加した人数		計
	日本側参加者	2人	40人
	中国側参加者	25人	
	韓国側参加者	13人	
	①と②の合計人数		54人
セミナー開催の目的	日中韓各国の研究者・研究グループの研究体制、研究成果に対する評価、検討を行い、フォーサイト事業遂行のため、今後の共同研究等具体的なロードマップを策定する。本セミナーでは、キックオフということもあり、特に大学院生等若手研究者の積極的参加を促し、日中韓三カ国の若手研究者による人的ネットワークの構築を図る。		

セミナーの成果	<p>日中韓三国の「新機能を有する複合酸化物の開発と電子状態の解明」を目的とする研究ネットワークの構築、若手を主体とする研究者交流、共同実験計画がスタートをきった。特に、日中韓が世界の研究をリードしている鉄系高温超伝導体の新物質開発、単結晶育成手法についての情報交換を活発に行い、光電子分光を中心とする実験計画を議論した。また、三国の大学院生を含む若手研究者の育成と国際経験の場をつくるため、次年度以降に夏の学校、冬の学校の開催を決定した。</p>		
セミナーの運営組織	<p>運営委員長 Donglai Feng, Fudan Univeristiy (Shanghai)</p> <p>日本側担当者 永崎洋 産業技術総合研究所 (つくば)</p> <p>韓国側担当者 Changyoung Kim, Yonsei Univeristy (Seoul)</p>		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 国内旅費（日本分）</p> <p>外国旅費（日本分）</p> <p>消費税相当額（日本分）</p>	<p>金額 97,670 円</p> <p>1,773,540 円</p> <p>88,677 円</p>
	中国側	<p>内容 会議開催費、</p> <p>中国国内移動費（日本、中国、韓国分）</p>	<p>金額 1,700,000 円</p>
	韓国側	<p>内容 国内、海外旅費（韓国分）</p>	<p>金額 600,000 円</p>

10-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

① 相手国との交流

（単位：人／人日）

派遣元		派遣先			
		日本	中国	韓国	計
日本	実施計画		0/0	0/0	0/0
	実績		0/0	0/0	0/0
中国	実施計画	0/0		0/0	0/0
	実績	0/0		0/0	0/0
韓国	実施計画	0/0	0/0		0/0
	実績	0/0	0/0		0/0
合計	実施計画	0/0	0/0	0/0	0/0
	実績	0/0	0/0	0/0	0/0
② 国内での交流		0/0 人／人日			

11. 平成20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	97,670	
	外国旅費	1,773,540	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	1,719,533	
	その他経費	63,000	
	外国旅費・謝金に係る消費税	88,677	
	計	3,742,420	
委託手数料		374,242	
合計		4,116,662	

1 2. 四半期毎の経費使用額及び交流実績

	経費使用額（円）	交流人数（人／人日）
第1四半期	0	0／0
第2四半期	0	0／0
第3四半期	1,005,582	14／60
第4四半期	2,736,838	0／0
計	3,742,420	

1 3. 平成20年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	中国	韓国
平成20年度使用額 (単位：円相当)	5,745,743 円相当	3,637,206 円相当

※ 交流実施期間中に、相手国が本事業のために使用したマッチングファンドの金額を、日本円に換算して記入してください。