

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11563

研究課題名（和文）ユーザ指向型構造化技能情報に基づいた溶接技能教育支援手法の開発

研究課題名（英文）Development of welding skill education support method based on user oriented structured skill information

研究代表者

松浦 慶総（Matsuura, Yoshifusa）

横浜国立大学・大学院工学研究院・特別研究教員

研究者番号：70282960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：日本のものづくり産業では製造技術・技能の継承問題が深刻化しており、ものづくり力や開発力の低下が懸念されている。技能における既往研究では、身体構造に基づいた運動制御や体感情報、意思決定プロセスといった技能動作の向上に影響を及ぼす重要な情報が欠落していた。このため、これらの情報に基づいた教育支援手法は全く開発されていない。

そこで、本研究は様々な熟達度の習得要求を持つ被覆アーク溶接技能を対象とし、溶接品質への影響度とその関連性から多角的な技能情報を構造化することで、熟達者の持つ技能情報を再構築し、その情報から学習者の要求する習得度に応じて提供する情報を新たに構成する技能学習支援手法の開発を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ものづくり分野における身体技能の効率的な教育支援手法の開発を行った。開発した技能特性要因分析手法により、技能情報を成果物の品質に対する影響度から製作物や道具・機械の状態、動作などに構造化した。ここで、従来研究では扱っていない動作に関係する身体制御、体性感覚、視覚情報を明確化することで、学習者自身の気づきから、評価向上につながる身体動作の繰り返し学習を促すことができ、さらに学習モチベーションの向上が可能となる。

この手法は多くの身体動作を伴う技能に活用することが可能であり、伝統工芸の技能継承から、生涯教育として自分の状態あったスポーツの実践、リハビリテーション等への応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In the context of Japan's manufacturing industry, the issue of knowledge transfer and skill inheritance has become increasingly critical, raising concerns regarding the potential decline in manufacturing capabilities and development. Factors such as motor control based on body structure, sensory input, and the decision-making process have been notably overlooked. Consequently, the absence of educational support methods incorporating these factors remains evident.

To address this gap, this study focuses on shielded arc welding skills, which necessitate the acquisition of proficiency at various levels. The objective is to develop a skill learning support method that not only reconstructs skill-related information but also configures the information to be delivered in accordance with the learner's required level of mastery. This personalized approach to information provision aims to optimize the effectiveness of skill acquisition.

研究分野：教育工学

キーワード：技能教育 技能情報構造化 教育支援システム 身体技能動作 気づき

1. 研究開始当初の背景

日本のものづくり産業分野においては、日本の人口減少に伴う生産年齢人口の減少や団塊世代の大量退職による 2007 年問題、若年労働者の製造業離れ等が原因となり、製造技術・技能の継承問題が深刻化している。特に中小企業では、技術競争力が低下している理由として約 70% が技術・技能継承がうまくいっていないと認識している。一方、国際競争力強化のために大企業では国内製造拠点のマザー機能化を推進し、中小企業ではグローバルニッチトップ企業等の新たな企業形態への変化に取り組んでいる。このように、ものづくり力や開発力が大きく問われる現況では、高度な技能・技術を有する人材が必要となるため、早急に技能者養成の仕組みを整える必要がある。しかし、技能教育の現状は OJT (On the Job Training) による人材育成システムがほとんどであり、教授者を主にベテラン技能者が担っているために教授レベルや教授プロセスにばらつきが生じ、学習者の熟達状態を的確に把握して適切な指示を与えることが出来ないことで、効果的な教育の実現が困難になっている。このような社会的背景から、2007 年問題が注目され始めた 2000 年頃からものづくり技能に関する研究が盛んに行われてきたが、そのほとんどは技能保存を目的とした技能のモデル化を目指している。技能解析の最終評価対象は製品品質であり、製作プロセス中の技能者の身体動作や道具・機械状況、加工法、部材・製品状況、場(環境)を計測対象としている。したがって、従来研究ではまず製品品質から技能熟達度を決定し、熟達度と製作プロセスの計測データの定量的な関係から技能モデルを構築している。一方、これまでの身体技能の習得では「技は見て盗む」と言われるように、学習者が熟達者の身体技能を直接観察・実践していく過程で、内省を繰り返しながら技能モデルを構築してきた。従来研究も熟達者の技能モデルを基準として学習者の身体動作を定量的に比較し、相違した評価項目やデータのばらつき等で習熟度判定や誤りを評価するシステムを開発している。しかし、どのように意識をすれば熟達者のように身体を動かせるのかといった、これまで暗黙知と呼ばれている身体運動情報や体性感覚情報は扱っていない。さらに、教授者が学習者の現在の学習時点での技能教育における必要性和熟達度を考慮して情報提供する教育支援手法はない。また、熟達度の高い情報を提示しているため、学習者の熟達度との間に大きな差がある。その結果、多くの評価項目で差が生じていると判定され、具体的に技能動作の何がどのように問題なのか、何について習得すれば良いのかといった技能学習のポイントが不明確になる。結果として効果的に学習効果が得られないため、学習者のモチベーションの低下を招いてしまう。

では、身体技能を伝承するにはどのような情報をどのように伝えるのが効果的に習得できるのか。従来の身体技能の「形」の模倣による学習では、学習者自身が身体制御や体性感覚の情報に気づかなければならない。しかしほとんどの学習者は、この気づきの重要性を知らないため、学習効果が思うように得られずにモチベーションを低下させてしまう。そこで、予め学習者の熟達度に応じたモデルを与えることで、注目すべき身体感覚が賦活され気づきを創出すること可能となる。また教授者の持つ技能情報は、技能の手續きとの関係性はあったが、技能品質 - 道具 - 身体 - 感覚という技能システムとして構造化がされていなかった。教授者である熟達技能者が持つ技能情報の構造化および教授を支援することで、学習者の要求している熟達度に適した技能情報の提供、学習支援が実現可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は教授者と学習者に対して、学習時点で適切な情報および要求される熟達度を考慮した技能情報の提供が可能な新たな教育支援手法の開発である。具体的には、既に研究代表者が提案している品質工学手法を応用した技能特性要因分析手法により、技能情報を成果物の品質に対する影響度から製作物の状態、道具・機械、身体動作、身体制御、体性感覚に構造化する。

構造化した各要因を基にユーザ(教授者、学習者)の要求する技能熟達度に対応する重み付けにより評価項目を選定するユーザ指向型技能情報構造化システムの開発を行う。さらに構造化技能情報と熟達度に対応した評価項目から技能教育データベースを作成し、新たな技能学習プログラムの創出機能による学習支援システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究の対象技能は、JIS、ISO 規格から特殊溶接といった幅広い熟達度が要求される被覆アーク溶接とする。溶接品質は溶接時のアーク状態に大きく依存しているため、この良好なアーク状態の実現には溶接技能の向上が必要である。従来の溶接技能学習では、溶接棒の運棒動作、アーク・溶融池状態といった溶接棒に関する情報のみである。良好なアーク状態を実現するためには溶接棒を支持する手や腕、体幹姿勢が非常に重要であるが、これらの情報がなく、また指導も行われていない。そこで、被覆アーク溶接技能におけるこれまでの技能情報を、本研究で提案する技能特性要因分析手法およびユーザ指向型技能情報構造化システムにより再構成、視覚化を行う。さらに初級者および中級者を対象として、ユーザ要求に基づいた新たな学習情報の提示と実践による提案システムの実証実験を実施する。

(1) 技能特性要因解析手法により、被覆アーク溶接に関する文献調査および溶接技能者のアンケート・インタビューから得られた技能情報を構造化する。構造化に際しては、アーク状態から溶接器具、身体動作、体性感覚等の溶接技能に関連するすべての要素と溶接品質との関係性を明確にし、技能特性要因図を用いて構造化する。

(2) 構造化した技能情報について、ユーザ要求の技能熟達度に対応した評価項目を適用するユーザ指向型技能情報構造化システムの開発を行う。これにより被覆アーク溶接技能を網羅的に構造化した技能特性要因図から、学習者にとっては学習目標、教授者にとっては教授目標を選定する。

(3) 要求する熟達度に応じて技能学習時の重要度を考慮する技能情報構造化手法の開発を行う。

(4) 技能動作教育での「形」への依存から、どのように身体を制御すればよいかといった「身体制御情報」、「体性感覚情報」を重要視した教育手法を開発する。

(5) 身体技能学習のプロセスを仮定し、構造化技能情報から必要な情報を選択する技能教育支援プログラムの設計法の提案を行う。

(6) これまで開発したシステムから、実際に被覆アーク溶接技能学習において実証実験を行う。

4. 研究成果

4.1 技能情報構造化手法

著者が既に提案した技能情報構造化手法⁽¹⁾は、品質工学手法の要因分析を応用することで、技能情報に含まれている要因の関係を明確化する(図1)。要求特性を技能品質とし、技能品質へ影響を及ぼす直接要因、直接要因に関係する間接要因、身体要因の順で記載する。また、道具を制御するために身体をどのようにコントロールすればよいかという体性感覚要因は、直接要因に直接影響するため極めて重要である。本研究の対象である被覆アーク溶接においては、要求特性を溶接技能品質とし、直接要因をビードと溶融池とする。ビード形成に影響を及ぼす間接要因をアーク、溶接棒とする。

ここで、技能情報を構造化する際には各要因に関わる情報を一度網羅的に収集する。これは、各要因ですでに形式知化された知識と、これまでほとんど扱われていない知識である暗黙知を明確化することで、熟達者から新たにどのような知識を獲得する必要があるかが明確になる。一般的に直接・間接要因の情報量は多く、文献やこれまでの指導内容に多く記述されている。今回の被覆アーク溶接でも、文献調査から運棒中の溶接棒の角度や速度、溶融池の大きさといった定量的情報と、溶融池の形状やアーク状態などの定性的情報が確認できた。しかし、身体要因や体性感覚要因は文献等でも情報はほとんどないことが分かった。そこで、構造化技能情報を熟達者に提示しながらインタビューおよび動作解析を行い、不足している情報の獲得を目指す。

初級者に対する被覆アーク溶接技能学習を対象とした場合に、学習目的を「安定したビード形成と十分な溶融」とする。この場合に各プロセスに関係する項目を選択すると、以下の通りとなる。

(1) 技能目標と身体動作との関係の明確化:

目標: 安定したビード形成と十分な溶融 項目: 溶接棒, 保持手, 手首, 肘部

(2) 技能動作イメージの想起プロセス:

・保持手の運動方向と、運動の安定性に寄与する力覚・保持手の運動と溶接棒と母材の距離の関係・保持手運動と支持をする上腕の感覚

(3) リアルタイムモニタリングにおける熟達度と注意項目:

・保持手の運動(フォルダを母材側に移動)・溶接棒と母材の接触感覚, 距離

(4) 動作中の注意項目とイメージとの比較:(3)と同様。

(5) 成果物評価と動作中注意項目の関係性:

・ビード形状と保持手運動の安定性・溶け込み状態と溶接棒-母材の距離

以上について、教授者がまず情報を抽出し、学習後に学習者から情報を抽出することで、身体感覚を含めた技能学習が期待される。

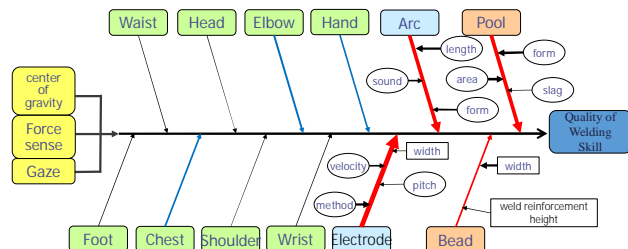


Fig.1 Structure of welding skill information

4.2 要求技能熟達度に対応した技能情報構造化手法

身体動作を伴う技能教育について、著者は技能情報を教育のために構造化する手法を提案している。しかし、この構造化では技能習得の目的に対して、必要な要素の分類と影響度の関係を明確化、視覚化することを重視しており、教授者や学習者の技能の熟達度に対する要求は考慮できていない。そこで、要求する熟達度に応じて技能学習時の重要度を考慮する技能情報構造化手法を提案する。

技能熟達度に対する要求は技能習得の目的で大きく違ってくる。本研究の被覆アーク溶接技能においては、溶接対象に応じて必要な溶接技能の資格が必要となる。したがって、業務として溶接技能習得を検討したときに、会社の要求に応じて必要な溶接資格を取得するために技能習得をすることになる。この場合は習得開始時では、学習者はあまり主体性を自覚することはないため、教授者の指導内容のみを意識することになる。すなわち学習者は模倣学習で技能向上のための気づきを主体的に行わない。さらに強力なアーク光の発生という特殊な環境下であるため、防護面を通した溶融池の視認に限定される。評価も溶接結果の品質評価であり、溶融池と溶接品質の関係性の把握は可能であるが、溶融池の状態を改善する情報はほとんどない。したがって、学習者の繰り返し学習においては、どのような身体動作を自動化し、溶接品質に影響する動作をどのように制御すればよいかという学習目的を実現が困難となっている。

そこで、すでに提案した技能情報構造化手法に対して、要求熟達度に応じて意識・注意・評価の各要因の抽出を行い、学習者の気づきを支援する新たな構造化手法を提案する。ここで、意識要因とは技能習得に必要な特定の情報の受容感度をあらかじめ高くするために、技能実施前に意識させる情報と定義する。すなわち、イメージトレーニングを行う時に、特に意識をする身体部位や感覚が相当する。注意要因とは実技中に意識を集中する情報を定義する。すなわちリアルタイムモニタリングを行う要因のことである。評価要因は技能の品質を評価する要因であり、意識・注意要因の実施評価も含むことで、結果のフィードバックを明確に行うことが可能となり、新たな気づきの創発により効果的な繰り返し学習が実現できる。

4.3 身体動作をとまなう技能における「気づき」の重要性

これまでの身体動作をとまなう技能の教育では、動作の「形」の模倣をする学習が主体である。これは、人が主に視覚情報に依存していることから、直接観察可能な技能動作を実際に真似して繰り返し学習し、「形」動作を自動化することで、熟達度が向上するとの考えである。したがって、ほとんどの従来の技能研究においても身体部位の位置情報や動作情報を解析している。しかし、これらの「形」の学習の問題点として、(a) 環境の変化により、身体に対する負荷といった力学情報や視覚情報が変わると対応が困難になること、(b) 基準とする「形」の情報が熟達者に依存している、ことが挙げられる。

そこで、技能動作教育での「形」への依存から、どのように身体を制御すればよいかといった「身体制御情報」、「体性感覚情報」を重要視した教育を目指す。「形」を模倣としようとする、筋骨格系の個人差が大きく各部位の重心が違うため、単純に位置を真似しようとしても実際に同じ動作を実行することはかなり困難であり、したがって、効果的な学習をすることが出来ない。本研究では「形」は身体制御の結果であり、動作時の体性感覚情報と動作とを「比較」した結果をフィードバック制御情報とすることで、繰り返し学習と動作の自動化の効果が生じると考える。ただし、身体制御情報と体性感覚情報を抽出することは容易ではない。従来の教育情報や研究において、扱われている情報のほとんどが視覚情報であることから、これまでは暗黙知として扱われてきたと考えられる。本研究では技能教育時において、予想される身体制御と関係する体性感覚を励起させるような導入情報を呈示することで、学習者自身がこれらの情報に「気づく」ような教授法を提案する。気づくことにより教授情報のより深い理解と、自らが気づいたということでもモチベーション向上が期待できる。

4.4 身体動作をとまなう技能の支援教育プログラムの設計法の提案

技能情報構造化手法では、初めに技能品質に関わる要因に対して網羅的に情報を収集する。従来研究の多くは、得られた情報に対して熟達者情報の基準で評価を行っているが、評価をどのように学習に活用すればよいかはほとんど議論がなく、学習時には学習者の模倣学習に依存しているため、よほど勤のよい学習者でなければ形の模倣に終始してしまう。身体動作をとまなう技能では、時間的、空間的に動的な情報を同時に複数扱う必要があり、どの情報をどのタイミングで、学習にどう利用すればよいかを教示することが極めて重要である。そこで身体技能学習のプロセスを仮定し、構造化技能情報から必要な情報を選択する設計法を提案する。

技能の熟達度目標とそれに関係する要因の明確化

技能動作イメージの想起プロセス

リアルタイムモニタリングにおける熟達度と項目

モニタリング項目でのイメージとの比較

成果物評価とモニタリング項目の関係性

まず、成果物の目標品質に対しての評価を行う。次に評価要因の一つとしてモニタリング項目を検討する。また、記録している相違情報も成果物の評価に影響しているか検討する。

全てのプロセスに必要な情報を構造化技能情報から選択し、学習者への呈示と評価項目として設計する。ここで注意することは、気づきを創発させるための情報と技能動作の学習時にモニタリングする項目、成果物の評価項目に分類することである。また、はイメージトレーニングと同様であるが、教授者は出来るだけ多くの身体感覚情報を学習者に提示する。これは、学習者がイメージトレーニングの段階で、感覚器を励起させ、気づきを創出することを目指す。感覚器が励起していなければ、多くの動作を行っても気づかない。気づかなければ、モチベーション低下につながる。

では、技能学習時に目標とする技能熟達度に必要な評価につながる項目を注意し、自身の持つイメージを基準として比較することで、成果物の評価の原因として明確化できる。

以上の教育プロセスと情報を基に、技能教育支援システムの設計及び開発をすることで、学習

者はあらかじめ技能に関係する多くの情報から、気づきやすい状態に励起され、また比較基準を持つことで差を認知できると期待される。一方、教授者も同様な状態になれば学習者の身体感覚を把握しやすくなり、学習者との共感が得られると考えられる。

4.5 溶接技能における要求技能熟達度を考慮した技能情報構造化

大学の工場実習における溶接技能習得を事例として、従来の実習方法と熟達度を考慮した技能情報構造化による新たな指導法の検討を行う。従来の実習方法では手溶接を学生に体験させることを目的としており、実習時間も3時間程度と短い。したがって、学生も技能向上をほとんど期待していないため主体性が低いと言える。実習内容は溶接品質に直接影響を及ぼす溶融池とアーク状態に関する情報と、それに必要な溶接棒の位置情報を説明し、実技を行っている。今回の技能情報構造化手法で構造化を行うと、注意要因がほとんどで意識要因はない(図2)。したがって、繰り返し学習を実施しても、溶融池・アーク状態を良好かつ安定にすることはほとんどできない。

一方、初級技能者に必要な熟達度を考慮した技能情報構造化を行い、新たな指導法を提案して実施した。溶融池・アーク状態の安定性は溶接棒の制御が重要であり、その制御を上腕及び溶接ホルダを支持している手によってどのように行えばよいかについて構造化した(図3)。この結果、実技前のイメージトレーニングでは溶接棒の長さが短くなることを考慮して溶接ホルダを斜め下方向に一定の速度で下ろしていく上腕の動きと、その動きの安定性を確保するため、脇が開かないように制御すること、さらに上腕を下ろすと溶接棒と母材の接点が円弧を描いてしまうので、溶接線の直線を維持するように手首を少し返すような制御をする点を意識要因とした。実技中は溶融池・アーク状態が安定しているかをモニタリングすることが必要であり、注意要因とした。評価要因をビード品質と明確化し、これらを新たな学習内容とした。

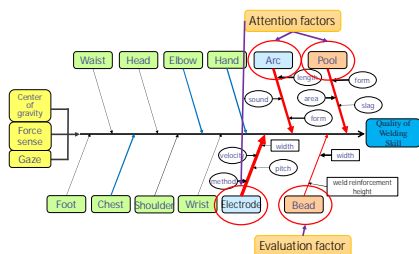


Fig.2 Structure of welding skill information (traditional method)

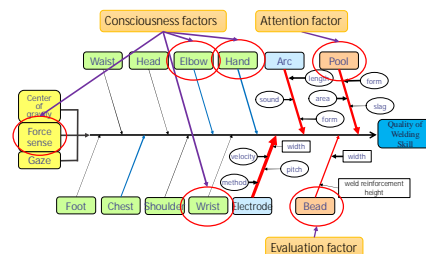


Fig.3 Structure of welding skill information (new method)

4.6 学習効果検証実験

作成した新たな初級者学習法の有効性を調べるため、従来指導法との比較実験を実施した。運棒法は下向きストリング運棒法とし、母材に6mm厚のSS400、軟鋼用溶接棒(棒径3.2mm、棒長350mm)を用いた。溶接線は、長さ110mm、幅15mmの長方形を母材に記し、溶接するように指示した。

従来指導法の被験者A, Bの結果を見てみると、ビード形状は幅、高さともに不揃いで、スパッタも多数生じ、溶け込みが不十分である(図4(a))。新指導法による試行結果では、ビードの幅、直線性、余盛の安定性が大幅に向上した(図4(b))。被験者C, Dについては新指導法のみ実施したが、1試行目ではビード形状が乱れているが、2, 3試行目ではビード状態が大幅に向上している(図5)。実験終了後にインタビューでは、従来指導法による試行後では、溶接棒を一定速度で送る、母材と溶接棒との距離を一定にすることを意識している。新指導法による試行後では、ホルダを鉛直下向き方向に移動するとの指導に対して、溶融速さについて理解しやすくなり、溶接棒が溶け込む感覚を掴むことが出来たと複数の被験者からコメントされた。この結果から従来指導法では、溶接ビードに直接影響を及ぼす運棒および身体制御の情報とその構造の理解がないため、試行回数を増やしても溶接品質の向上につながらないが、新指導法ではこれらの基本技能モデルにより身体制御や体性感覚の理解が容易になり、学習効果を得ることができた。



(a) Traditional method (b) New method
Fig.4 Result of welding (Subject A)



Fig.5 Result of welding (Subject C)

<参考文献>

- (1)近藤 敏之, 今水 寛, 森岡 周:身体性システムとリハビリテーションの科学2 身体認知, 東京大学出版会, (2018)
- (2)松浦慶総, 高田一, “溶接技能における初心者教育支援システムの開発”, 日本機械学会 技術と社会部門講演会 2017 年度講演論文集, No.17-52 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松浦 慶総, 高田 一
2. 発表標題 技能教育支援のための気づき促進モデルの提案
3. 学会等名 日本機械学会年次大会（一般社団法人 日本機械学会）2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦慶総, 高田一
2. 発表標題 溶接技能教育支援システムの開発（要求技能熟達度に対応した技能情報構造化手法の提案）
3. 学会等名 日本機械学会 技術と社会の関連を巡って：過去から未来を訪ねる
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦慶総, 高田一
2. 発表標題 教授者 - 学習者の相互性を考慮した身体技能教育支援に関する一考察
3. 学会等名 人工知能学会身体知研究会第28回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 慶総
2. 発表標題 身体技能教育における知識の共通認知手法の提案
3. 学会等名 人工知能学会第27回身体知研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 慶総
2. 発表標題 技能情報共有における「気づき」と「語り」を促進する手法に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 技術と社会部門講演会2018年度講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 慶総
2. 発表標題 技能情報構造化手法による溶接技能学習支援に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 慶総
2. 発表標題 身体技能情報の再構築化による初級者学習支援手法の提案
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第61回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 慶総
2. 発表標題 ものづくり技能における身体動作教育支援法に関する研究（学習者主体の気づき促進を指向した教育支援設計手法の提案）
3. 学会等名 日本機械学会 第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------