

大強度低速陽電子ビームによる物性科学・基礎科学の革新的展開

① ビジョンの概要

我が国で培われたビーム生成技術と経験を結集して、世界に類を見ない nA の強度を有する大強度低速陽電子ビーム生成を実現する。これによって原子空孔・サブナノ空隙の 3 次元マッピング、固体表面の原子配列と電子状態、表面スピンの空間分布などの測定を実現し、未来の超効率化社会の実現に必要な機能性材料や量子技術の開発に寄与すると共に、純レプトン束縛系に関連した基礎物理学に変革をもたらす。

② ビジョンの内容

陽電子は物質の電子状態や格子欠陥研究に盛んに用いられ、特に原子空孔の検出に関しては陽電子の独壇場となった。また、1980 年代以降の低速陽電子ビーム開発は電子線形加速器を用いた高強度低速陽電子ビーム生成へ進展し、特に陽電子回折実験によって最表面構造解析に関する未解決課題の解決に寄与してきた。今後 20-30 年で、nA の大強度低速陽電子ビームが実現すれば、物質科学研究や基礎科学研究の深化、機能性材料や量子技術開発に寄与すると考えられる。例えば、3 次元格子欠陥マッピング、最表面の構造および電子状態とそのダイナミクス、表面スピン状態マッピング

等は、学問的にも産業界にも高い価値が認識されている。また、ポジトロニウム (Ps) ビームによる新奇物質情報取得、Ps を用いたレプトンセクターにおける CP・CPT といった基本的対称性の超精密検証、Ps エネルギー準位の超精密測定や Ps のボース・アインシュタイン凝縮 (BEC)、反物質重力効果検証などの基礎研究の進展にも強い期待が集まっている。

日本の陽電子科学コミュニティは、国内約 20 の拠点、さらには加速器コミュニティや材料研究者との連携を強化し人材育成を促進する。これにより陽電子の可能性を最大限に引き出す。

③ 学術研究構想の名称

大強度低速陽電子ビームによる物性科学・基礎科学の革新的展開

④ 学術研究構想の概要

我が国の加速器技術と大強度陽電子生成技術を投入することで、これまでより数桁高強度化した nA 低速陽電子ビームを実現し、物性研究や基礎物理学研究への応用を推進する。

具体的には、サブミクロンオーダーの高分解能陽電子プローブを開発し、金属・半導体の原子空孔の 3 次元マッピングや高分子の自由体積分布計測を実現する。これにより産業界のニーズを満たし、物質機能発現因子の解明や新材料の創成に貢献する。また、陽電子回折実験により、電子や X 線では解明できなかった物質表面の構造を決定する。低エネルギー陽電子顕微鏡を開発し、微小領域の表面構造やダイナミクスを追跡可能にする。さらに、スピン偏極陽電子による最表面原子層のスピン分解電子状態の解明により、量子技術を活用した超効率化社会の実現に寄与する。また、Ps の分光や BEC、Ps ビームによる物質研究、反水素生成や電子陽電子ペアプラズマ研究等に展開する。

⑤ 学術的な意義

反粒子としての陽電子の研究は、高強度・高輝度な低速陽電子ビームの生成技術向上により革新的方法論を生み出してきた。本研究構想で、我が国の高エネルギー物理分野で進展した技術、特に電子陽電子コライダー将来計画で検討されてきた技術を結集し、従来より 3 桁強い nA 低速陽電子ビームの実現を目指す。

この大強度ビームを用いれば、超高分解能走査型陽電子顕微鏡の開発が可能となり、原子空孔・サブナノ空隙構造などの非破壊計測が期待できる。これにより、広範囲な材料開発分野や未来社会に必要な機能性薄膜開発などのへの貢献が強く期待できる。陽電子回折に应用すれば、X 線や電子線では困難だった最表面および表面直下の原子層の各原子位置座標を正確に知ることができる。これにより、量子技術や先進触媒材料な

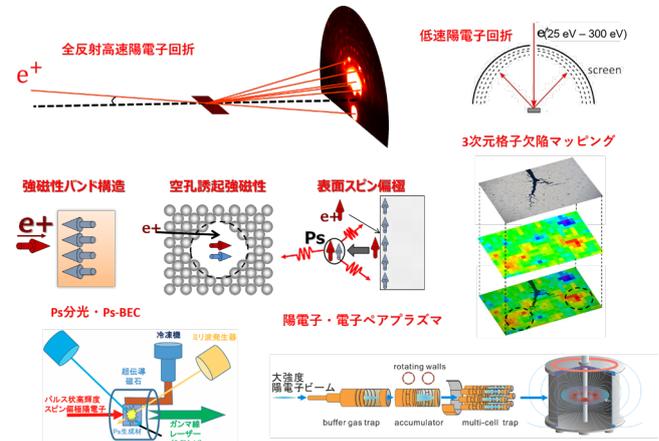


図 1 大強度低速陽電子ビームによる発展の例

どの研究に必要な基盤技術を提供し、学術と社会の双方に影響を及ぼすことが期待できる。

さらに、基本的対称性の超精密検証やPsのBECの研究、Psビームの応用、反水素合成や電子陽電子ペアプラズマ実現等の基礎物理研究が飛躍的に進む。可搬型低速陽電子ビーム装置の開発を推進することで、大学や企業での研究や人材育成を促進できる。また、連続ビーム源として貴重な研究用原子炉や放射光蓄積リングにおける逆トムソン散乱を利用した陽電子消滅実験などによる応用研究も推進する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

日本は、陽電子を用いた物質科学研究、特に金属・半導体の格子欠陥や高分子材料の自由体積研究で世界をリードしている。産業界との共同研究が多いのも特徴で、これは日本陽電子学会の積極的な情報発信によるものである。新規手法の開発や基礎物理学への展開も先導し、多様な陽電子ビーム施設を開発し続けてきた。本構想は、20の研究拠点からの支援を受け、これまでの研究環境を基盤に高強度低速陽電子ビームの実現を目指しており、現時点でそれが可能なのは日本のみである。

⑦ 社会的価値

陽電子は、金属・半導体における格子欠陥挙動解析と高分子材料におけるサブナノ空隙解析で特筆すべき貢献をしている。過去20年で産総研および大学が100社以上、200近い共同研究を行っている。三次元原子空孔（サブナノ空隙）マッピングが可能になれば、局所情報へのニーズ増加により、産業界からの要望は飛躍的に増加するだろう。さらに、表面回折研究の時間変化測定が可能になれば、触媒開発や量子技術の進歩に必要な表面状態の時間変化情報を提供し、これらの分野への大きな貢献が期待できる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール

初年度：調査・全体計画検討、第2年度：詳細設計・実施設計、第3年度：建屋整備、第4年度～第6年度：加速器、陽電子ビームラインコンポーネント開発、第7年度：試運転、評価、可搬型陽電子ビーム装置設計開始、第8年度：加速器増強、陽電子顕微鏡設計、可搬型陽電子ビーム装置コンポーネント製作、第9年度：陽電子顕微鏡製作/設置、可搬型陽電子ビーム装置組立、第10年度：陽電子顕微鏡運転開始、可搬型陽電子ビーム装置試運転

実施機関と実施体制

本構想に参画する日本陽電子学会のメンバーの官学の所属機関は、東北大学、原子力機構、量研機構、KEK、分子研、筑波大学、産総研、理研、千葉大学、東京大学、東京学芸大学、早稲田大学、東京理科大学、上智大学、立教大学、京都大学、大阪大学、大阪公立大学、広島大学、鳥取大学、九州大学、鹿児島大学などである。他に、東レリサーチセンターや日東電工、島津製作所等の企業の研究者も参画しており、それを束ねるのが会員数140名の日本陽電子学会である。

総経費 70億円

所要経費 加速器ベース陽電子ビーム生成関連研究費 20億円、原子炉ベース陽電子ビーム生成関連研究費 10億円、陽電子ビーム輸送/輝度増強関連技術研究 5億円、超高分解能陽電子プローブマイクロアナライザー開発研究 10億円、低エネルギー陽電子顕微鏡開発研究 10億円、可搬型陽電子ビーム装置開発 10億円、陽電子ビーム利用実験 5億円

⑨ 連絡先

藤浪 真紀（日本陽電子学会）

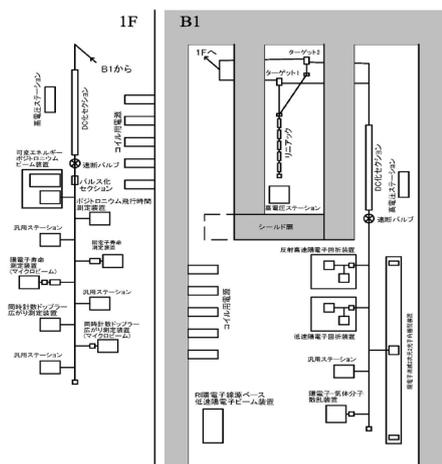


図2 大強度低速陽電子ビーム実験施設