

太陽光発電、蓄電池／燃料電池 提案開発領域一覧

分野名	No,	領域名	提案者
太陽光発電	1	太陽電池のナノレベルでの表面・界面の計測評価	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授 小長井 誠 氏
	2	太陽電池の大面积基板上での物性計測評価	
	3	太陽光発電システムの評価分析	
	4	太陽光発電の光照射場における表界面動的計測	物質・材料研究機構 次世代太陽電池センター長 韓 礼元 氏
	5	太陽電池における電流・電圧特性の高速測定	
蓄電池	1	蓄電池における固体内反応計測技術	京都大学 特任教授 小久見 善八 氏
	2	次世代蓄電池における電極界面の計測	
燃料電池	1	燃料電池における物質・材料の3次元構造解析及び計測可視化	山梨大学 燃料電池ナノ材料研究セン ター長 渡辺 政廣 氏
	2	燃料電池における触媒層の精密評価	
	3	燃料電池作動環境での触媒反応の計測評価、可視化	横浜国立大学 工学研究院 教授 太田 健一郎 氏
	4	固体高分子形燃料電池における電解質の酸-塩基評価	
	5	燃料電池における電極反応のリアルタイム解析	

(領域名)

太陽電池のナノレベルでの表面・界面の計測評価

(概要)

太陽電池の高効率化・高信頼性確保に向け、表面・界面のナノレベルでの結晶欠陥、キャリア再結合、電気的性質等の評価のための計測システムを開発する。

(開発の必要性)

太陽光発電による発電コストを 7 円/kWh 以下まで下げるため、太陽電池の高効率化、高信頼化が喫緊の課題。

○太陽電池の高効率化、高信頼化のボトルネックは表面・界面やバルク内でのキャリア再結合の抑制技術開発、欠陥を終端している結合構造の安定性向上の技術開発等。中でも、高効率化への寄与が極めて大きいパッシベーション膜の開発が必要不可欠で、表面・界面での再結合を極限までゼロに近付ける膜構造の解明と、その構造を実現する製膜技術開発が必要。

これまで無かった、表面・界面での原子レベルでの欠陥評価法や組成分析法を開発し、表面・界面でのキャリア再結合を極限まで減少させる、新しいパッシベーション膜構造を実現。また、未だ無い、キャリア寿命時間の深さ方向での分布測定技術の開発により、パッシベーション膜の性能をバルク欠陥と分離し精密評価することを可能とする。さらに、光第二次高調波測定などにより、これまで無かった、表面・界面における原子レベルでの電界強度分布の計測装置を開発し、固定電荷発生メカニズムを解明。

高効率化、高信頼性（光劣化や高温劣化を起こさない構造）が確保されたパッシベーション膜が実現され、変換効率 25% 以上と理論限界近くまで向上。

○多結晶太陽電池での高効率化のボトルネックは、結晶粒の究極的な品質向上や、粒界での再結合抑制技術。多結晶太陽電池では、多結晶粒毎に結晶方位が異なり、品質も結晶粒毎に異なる。どのような方位の結晶粒を優先的に成長させればよいか解明し、それらの結晶粒を優先的に成長させる技術開発が必要。

結晶粒ごとの結晶方位や、キャリア濃度、キャリアライフタイムなどの電気的特性などをナノレベルで評価する計測技術は未だ無く、この計測技術の開発

により、多結晶太陽電池の変換効率を、単結晶太陽電池の変換効率に限りなく近づける。

以上により、シリコン多結晶太陽電池ならびに Cu(InGa)Se_2 多結晶薄膜太陽電池では、変換効率が 25% まで向上。

○微結晶、ナノ結晶材料太陽電池での高効率化、高信頼化のボトルネックは、ナノ粒子内部や粒界での大きく異なる電気的性質。

これまで無かった、粒界の導電率・バンドプロファイル・再結合速度などのナノレベルでの評価や、ギャップ内準位の超精密測定技術を開発。キャリア損失過程の原因となっている構造の制御を可能とし、太陽電池の高効率化、高信頼性（光劣化や高温での劣化を起こさない構造の開発）を確保。

シリコン系ナノ結晶太陽電池では、トリプル接合構造により 18% を超える変換効率を達成。

(領域名)

太陽電池の大面積基板上での物性計測評価

(概要)

太陽電池の生産性向上、高効率化に向け、大面積基板上での屈折率、膜厚、結晶化率の分布等の評価を高速に行うための計測システムを開発する。

(開発の必要性)

薄膜太陽電池を用いた太陽光発電システムによる発電コストを7円/kWh以下まで安くするには、大面積基板上への製造過程における歩留まり向上と、それに伴う太陽電池の生産性向上、高効率化が不可欠

○面積5平方mにも及ぶ大面積シリコン薄膜太陽電池の製造ラインにおける、変換効率向上のボトルネックは、大面積基板上での均一性の確保。

歩留まり向上のキーテクノロジーとして、これまで無かった、生産現場での大面積基板上での屈折率、膜厚、結晶化率の分布等、薄膜の均一性を高速で評価する計測システムを開発。

大面積モジュールでの変換効率制限要因を解明し、98%以上まで歩留まりが向上。太陽電池の生産性が一気に向上し、大面積シリコン系薄膜太陽電池の変換効率を15%以上まで向上。

(領域名)

太陽光発電システムの評価分析

(概要)

太陽光発電システムの年間発電量向上に向け、太陽光発電システムの屋外環境における発電性能の評価技術の開発、ならびに運用時における故障検出等を行う評価分析システムを開発する。

(開発の必要性)

太陽光発電による発電コストを7円/kWh以下まで下げるためには、年間発電量を向上させる技術開発が喫緊の課題。

○年間発電量向上のボトルネックは、設置地域の気象条件による年間発電量の違い、モジュールの故障か所を瞬時に検出するシステム開発。太陽電池の材料（種類）によって、気象条件に対する性能変化が大きく異なる。また、外観では見分けられない、太陽光発電システムの一部での故障で、発電特性に大きな影響を及ぼす。

種類の異なる複数のモジュールからなる太陽光発電システムの屋外発電性能として、1秒ごとの太陽電池出力や入力エネルギーとなる日射強度や分光放射照度分布などの気象データを精密に評価・比較する技術を実現。また、太陽光発電システムを対象とした故障検出等を行う評価分析システムを開発

設置地域の気象に最適な太陽電池材料、モジュール構造等に関する知見を獲得。また、モジュール交換を迅速に行うことを可能とし、システム内部での電力損失を低減。現在実用化されている太陽光発電システムと比較し、年間発電量を15%以上向上。

(領域名)

太陽光発電の光照射場における表界面動的計測

(概要)

次世代太陽光発電システムの高効率化に向け、光照射場における界面構造、状態、反応メカニズムを、時間分解かつ原子・分子レベルで解析する、新しい計測システムを開発する。

(開発の必要性)

次世代太陽光発電における発電コストを、火力発電並のコスト（7円/KWh）に下げするため、特に、色素増感太陽電池における高効率化と長寿命化、量子ドット型太陽電池における高効率化が実用課題。

○色素増感太陽電池の高効率化のボトルネックは、酸化チタン電極の大表面積による、固液界面での表面・界面の構造やエネルギー状態と電子移動との関係の未解明。光照射下で励起電子は色素から酸化チタン電極へ注入されるが、その注入過程の解明のため、電極表面における色素の吸着配列構造と電子移動過程の同時計測が必要。

これまで無かった、表面・界面での電極表面構造や材料のエネルギー準位、色素や量子ドットなどの増感体の吸着配列構造・エネルギー状態（吸着された色素の最高被占分子軌道、最低非占有分子軌道エネルギー）、電子励起状態（キャリア寿命）を詳細に把握し、電極、増感体そして電解液からなる表面・界面での電子移動過程を速い時間分解能で計測するシステムを開発。

光電変換メカニズムの解明と解明に基づく材料最適化の指針を得て、現行の色素増感太陽電池から変換効率を15%まで増加させる。

○色素増感太陽電池の長寿命化のボトルネックは、劣化メカニズムの解明。長期光照射下で、固液界面での色素や添加物の離着および吸着分子配列の変化、また、表界面における各分子の吸着脱離状態の長期かつ原子・分子レベルでの観測が必要。

これまで無かった、制御された環境場（光照射、温度、湿度など）において表界面における吸着脱離状態と電子移動などの発電機構との関係を長期間にわたる動的ナノ計測システムを開発。

劣化メカニズム解明により、新たな材料開発や劣化防止技術などの指針を得て、現行の色素増感太陽電池の寿命を 20 年以上に伸ばす。

○量子ドット型の次世代太陽電池の高効率化のボトルネックは実観測による基礎理論の検証。量子効果の観測と効果的な利用のためには、内部界面における量子ドットの構造やエネルギー状態、電位分布の実計測が必要であるが、その計測技術は未だに無い。

光照射場における三次元の立体顕微計測により、内部界面の構造と状態（材料のエネルギー準位、キャリア寿命）、電位分布などの三次元ナノ計測を実現。

光閉じ込め効果やキャリア輸送最適化などの量子効果を有効利用するための指針を得て、40%以上の超高効率化の量子ドット型次世代太陽電池を実現。

太陽光発電分野 No. 5

(領域名)

太陽電池における電流・電圧特性の高速測定

(概要)

色素増感太陽電池等、次世代太陽電池の生産ラインにおいて、太陽電池モジュールの電流・電圧特性を高速に測定するシステムを開発する。

(開発の必要性)

次世代太陽光発電における発電コストを、火力発電並のコスト（7円/KWh）に下げするため、生産ラインのスループット向上が喫緊の課題。

○生産ラインのスループット向上のボトルネックは太陽電池セルとモジュールの光電変換特性の高速計測。色素増感太陽電池を代表とする有機系太陽電池の電流・電圧特性の応答速度は非常に遅いため、従来の太陽電池の測定機器では対応できない。

これまで無かった、太陽電池モジュールの電流・電圧特性をサブ秒程度で計測・評価可能な高速測定システムを開発。

現行計測時間を5分から約千分の一程度に短縮し、太陽電池生産の高スループット化実現。

(領域名)

蓄電池における固体内反応計測技術

(概要)

リチウムイオン電池等のロッキングチェア型電池の充放電に伴う、固体内のリチウムイオン挿入・脱離反応のダイナミクスとそれに伴う副反応を計測する技術を開発

(開発の必要性)

自動車や電力貯蔵用途にリチウムイオン電池が広く使用されるためには、耐久性と発火しない安全性、レート特性、エネルギー密度の向上、コストの低減が喫緊の課題

○耐久性・安全性向上のボトルネックとなっているのは、電極活物質の表面での反応の未解明。活物質固体表面近傍のリチウムイオン量変化、遷移金属の価数変化と酸素種の安定性、表面構造変化を計測する必要がある。

これまで無かった、固体内の高い位置・時間分解能を持つ高輝度X線計測や中性子、電子線を用いる固体計測技術の開発により、活物質固体内の反応等の詳細な解明を行い、蓄電池の設計を最適化するとともに作動条件の限界制御を可能とする。

10年以上の寿命を達成。また、安全性は現在実用化されている蓄電池と比較し、2～5倍程度向上。

○レート特性向上のボトルネックとなっているのは、界面反応過程と固相内の反応のダイナミクスの未解明。リチウムイオン電池のレート性能の制限要因である固体内の拡散、相変化のダイナミクス解明が必要。

これまで無かった、固体内の高い位置・時間分解能を持つ高輝度X線計測や中性子、電子線を用いる固体計測として、酸化物内の遷移金属の価数の変化をミリ秒以上の時間分解能、数十ミクロン以上の空間分解能で測定する計測技術を開発。

自動車用途などの蓄電池に要求される出入力性能を、エネルギー密度を保ちながら、現在実用化されている小型リチウムイオン電池の2～4倍程度の2000 [W/kg]まで向上。耐久性と安全性を確保しながら高出力、急速充電を実現。

○リチウムイオン電池のエネルギー密度向上、コスト低減のボトルネックは、資源制約を受けない新しい電池活物質の材料開発。

これまで無かった、正極活物質の遷移金属の価数変化の分布と進行を測定し、拡散と相変化をカップルさせて考察するための計測技術を開発。現行の構造解析技術と組み合わせた、固相内の拡散定数と構造変化速度の計測により、活物質の設計を可能とし、資源制約を受けない新しい電池活物質の材料開発を可能とする。

これによって、汎用遷移金属に基づく安価で安全、高耐久、高エネルギー密度の正極活物質を実現。エネルギー密度 250Wh/kg、コスト 7 万円/kWh まで向上。

(領域名)

次世代蓄電池における電極界面の計測

(概要)

リチウムやマグネシウムなどの析出時に進行するデンドライト析出のメカニズムを解明し、その抑制に貢献する計測システムを開発する。特に、電解液と電極の界面でその場測定ができ、高い位置分解能と時間分解能を持つ FT-IR, Raman, XPS, MS, TEM, SPM 等, 表面形状と表面の物理的・化学的性質を観察できる計測システムを開発

(開発の必要性)

電気自動車の一充電走行距離の飛躍的増大には、高エネルギー密度の蓄電池開発が不可欠

○高エネルギー密度の蓄電池開発のボトルネックは、充電時における金属負極でのデンドライト析出。デンドライト析出抑制には、活物質の表面物性を含めたデンドライト析出メカニズム解明が必要。

これまで無かった、金属析出過程のモーフロジーと界面張力、表面エネルギー、表面拡散速度、金属イオンの吸着形態、吸着状態、析出金属表面被膜、などの電解液／金属界面の物性の関係を計測する技術を開発。金属負極のデンドライト析出の抑制技術が開発され、次世代蓄電池の高容量負極候補である Li や Mg, Ca, Al 等の金属負極を可能とする。

デンドライト生成の測定技術は、リチウムイオン電池の界面反応の観察も可能とし、電解液添加物、電極表面被覆などの高性能化、低電位負極に必須の SEI (Solid Electrolyte Interface) を安定化。Li-Air 電池等、エネルギー密度が 300~700Wh/kg まで向上。

(領域名)

燃料電池における物質・材料の3次元構造解析及び計測可視化

(概要)

作動中の燃料電池内部の任意箇所に、必要個数のマイクロサイズの検出プローブ(X線、可視、紫外線等の各種電磁波用導波管、各種物質・物理量測定素子、或いは反応物、温度等に官能性の色素塗布検出素子)を挿入して、アノード、電解質、カソードにかけての深さ方向の反応、物理現象を高時間(ミリ秒)・空間(マイクロメートル)分解能で測定を行い、任意運転状況下の電池内の現象を三次元的に詳らかにし可視化出来る、これまでにない画期的な計測可視化システムを開発する。

(開発の必要性)

燃料電池の実用化には、新規材料および最適構造開発による発電性能と耐久性の向上、コスト削減が不可欠。また、構成材料の性能・耐久性・信頼性を最大限活かす燃料電池システム運転の最適化が不可欠。

○発電性能と耐久性向上のボトルネックは、発電中の燃料電池で、何の反応が、どこで、どのように、なぜ進行しているか未解明なために新規材料および最適構造開発が容易に進まないこと。解決には燃料電池の心臓部で厚さ数 $10\mu\text{m}$ 以下の膜電極接合体(アノード触媒層/電解質膜/カソード触媒層)と、これを両端からはさむ厚さ $200\mu\text{m}$ 程度のガス拡散層の内部において、燃料・酸素・水蒸気・液体水・二酸化炭素・温度・電位などの分布をミクロンレベルでの空間分解能とミリ秒レベルの時間分解能での理解が必要。

これまで無かった、この非破壊計測技術開発により、発電中燃料電池内での実空間・実時間での構造及び反応の理解を初めて可能とし、手探り研究から状態把握に基づく発電性能・耐久性向上研究へと大きく転換。

○コスト削減のボトルネックの一つは、触媒層における高価な白金の使用量の低減と低加湿・高温運転可能な低コスト電解質の開発。単セル構成各層の三次元構造・成分・組成の分布・挙動の把握により、触媒の有効利用が図れる各層の材料、ミクロ構造開発と、電解質内の輸送挙動や液・固水、電気抵抗の定常及び過渡現象解析による、高温・低加湿下で高い導電性、高耐久性を示す新しい炭化水素系電解質の開発が必要。

これまで無かった、触媒層内の気・液・固水、反応物、温度、電位、電気抵

抗の分布に関する定常及び過渡現象解析、特に、起動停止、負荷変動等の過渡現象時に刻々と変化する反応領域の詳細解析技術を開発することで、白金使用量を現状の1/10化。また、反応関与物質拡散挙動の抜本的改善や、燃料電池の氷点下起動の問題を解決。

以上により、燃料電池車やエファームの本格普及を可能とするシステムコストと耐久性の実現に大きく貢献。

○燃料電池システム運転の最適化のボトルネックは、構成材料の性能・耐久性・信頼性を最大限活かした燃料電池システム制御技術。

このシステム実現に必要なセル構成各層の三次元構造・成分・組成の分布・挙動等に関する三次元計測情報とシミュレーションを活用した各種運転条件下のシステム挙動のフレキシブル可視化技術を開発。

任意条件下の電池内の現象、状態の詳細解析により、構成材料の性能・耐久性・信頼性を最大限活かす燃料電池システム運転の最適化を実現。

(領域名)

燃料電池における触媒層の精密評価

(概要)

燃料電池の性能、寿命等の要因となる触媒層の超微量空孔体積・表面積の精密評価のための計測システムを開発する。

(開発の必要性)

燃料電池の実用化には、画期的な性能向上が不可欠。

○燃料電池の性能向上のボトルネックは、触媒性能の向上。触媒層内のガス拡散・プロトン輸送の向上による反応性向上が必要となる。従来のピクノメータでは、別途多量にサンプルを作成する必要があり、開発段階での多くの種類のサンプル測定が不可能。

これまで無かった、厚さ $20\mu\text{m}$ 以下の触媒層におけるサブミクロン、ナノメータの細孔分布、細孔体積の精密測定技術を開発。極微量の試料での、燃料電池触媒層内の物質移動に関わるサブミクロンオーダーの細孔径・体積の計測・評価を可能とし、触媒層の設計・作成の指針が得られる。さらに、燃料電池の動作試験後の実際の超微量サンプル評価を可能とする。

電池性能および応答性の画期的な改善により、実用レベルを実現している現在の燃料電池実証車やエネファームと比較して性能低下なく、これらの本格普及を可能とするシステムコスト、耐久性を実現することに大きく寄与。

(領域名)

燃料電池作動環境での触媒反応の計測評価、可視化

(概要)

燃料電池作動環境で、触媒における電子状態変化等の計測評価や可視化を行うシステムを開発する。

(開発の必要性)

燃料電池の実用化には、発電効率向上、低価格化、高出力化が不可欠。また、用途拡大と普及促進のため、常温で高効率に作動する低温型燃料電池の開発が不可欠。

○発電効率向上のボトルネックとなっているのは、各要素の電圧損失であり、中でも酸素極の電圧損失が最も大きく、大幅な削減を可能とする。この削減には、酸素電極近傍のミクロなその場での酸素濃度、水分分布等の計測が必要であるが、その計測技術は未だ確立されていない。

この技術の確立により、電極近傍でのミクロな物質、電子の挙動が解明でき、現在実用化されている燃料電池の発電効率から30%以上の向上。

○低価格化のボトルネックとなっているのは、高価格の白金触媒であり、その使用低減への指針、さらには脱白金を含む新規材料開発が必要となるが、これの性能評価基準となる電極反応面積の計測技術が未だ無い。

電極/電解質界面の電気二重層容量、水分子の状態変化などを利用して、触媒と電解質の接する界面の定量化、触媒利用率の正確な見積もりを可能とし、これにより高コストの要因である白金触媒低減への指針を得、さらには脱白金を含む新規材料を開発。

現在実用化されている燃料電池の酸素極材料のコストを百分の1以下にする。

○高出力化のボトルネックとなっているのは、触媒層の高機能化であり、これを実現するためには反応に伴う電子移動計測が必要となるが、この計測技術は未だ無い。

電子の移動に伴う微弱磁場変動などの物性変動を検出、燃料電池発電時の触媒層内の電子伝導パスの可視化により、触媒層内での触媒活性分布の測定評価を可能とし、触媒層の高機能化を実現し、また新規燃料電池材料の探索領域が拡大、高出力で低価格を実現。

○低温型燃料電池のボトルネックとなっているのは貴重な白金触媒を利用することにある。脱白金触媒を実現するには、実際に反応を起こしている反応活性点での電子状態や吸着種の計測が必要となるが、この計測技術は未だ無い。

触媒の最表面の電子状態変化や反応中間体の *in situ* 観測を行うことにより、非白金（非貴金属）触媒の最表面における反応解析を進めて高活性触媒開発が可能。理想の酸素極触媒が実現できれば30%程度のエネルギー効率向上。

さらには脱白金により、現在実用化されている燃料電池触媒材料について百分の1以下の低価格化を実現。

燃料電池分野 No. 4

(領域名)

固体高分子形燃料電池における電解質の酸-塩基評価

(概要)

固体高分子形燃料電池の電解質に使用されるイオン交換膜の酸性度を計測し、温度及び湿度の関数として評価するためのシステムを開発する。

(開発の必要性)

固体高分子形燃料電池の実用化には、耐久性向上が不可欠

○実用上不可欠である耐久性向上のボトルネックとなっているのは、触媒を中心とした材料劣化であり、電解質の酸性度は材料劣化や電極反応の理解のための重要な因子である。

イオン交換膜の酸塩基について水溶液に対する pH メーターのような装置を開発することにより、電極反応、材料劣化の解析が進むが、現在ではイオン交換膜のような薄く、微少な場での酸性度測定法がない。

この計測技術の確立により、燃料電池を含むイオン交換膜を使用する全ての分野の材料開発を加速、現在実用化されている燃料電池の 10 年以上の耐久性の実現。

(領域名)

燃料電池における電極反応のリアルタイム解析

(概要)

短時間分割を可能とする高輝度放射光により、燃料電池で進行する反応を、触媒 1 粒子毎で計測するシステムを開発する。

(開発の必要性)

燃料電池での理論効率達成には、触媒反応のリアルタイム計測が不可欠

○燃料電池での理論効率達成のボトルネックとして、酸素極反応抵抗の削減が最も大きな課題となっている。この抜本的な解決には酸素極反応の反応機構解析が必要である。そのためには反応中間体を含めてフェムトからピコ秒台のリアルタイム反応解析が必要である。しかし、現状ではこのような短時間での中間反応種計測技術が未だ無い。

このような計測技術確立により、触媒反応のリアルタイムな直接観測を実現、燃料電池触媒電極のリアルタイムな動作状況の把握を可能とする。

触媒反応の高効率化を阻む問題の直接測定により、反応機構の詳細な解明がすすみ、理論起電力を発現する新規触媒の開発、燃料電池の持つ高い理論効率の実現、さらには燃料電池普及に向け、現在実用化されている燃料電池酸素極材料の百分の 1 以下の低価格化を実現。