

発行 © 日本 MRS 事務局
 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1
 東京工業大学大学院理工学研究科
 中川研究室内
<http://www.mrs-j.org/>

||||||| やあ こんにちは |||||||

産学連携と特許申請

関東学院大学材料・表面工学研究所 副所長・大学院工学研究科工業化学専攻 教授 ^{たかい} 高井 ^{おさむ} 治



高井 治
 関東学院大学材料・表面
 工学研究所 副所長
 大学院工学研究科工業化
 学専攻 教授

今年の3月31日に名古屋大学を定年退職し、4月1日より関東学院大学材料・表面工学研究所に勤めている。国立大学→私立大学→国立大学→国立大学法人→私立大学と、20代から現在まで工学部に属してきた。工学部に属する一教員の立場から、産学連携について特許申請の面から述べる。

関東学院大学は、1946年に日本で最初のめっきの実習工場を学内に設立し、世界ではじめてプラスチック上への無電解めっき技術を実用化し、めっき分野での事業化に成功した。この技術は、プラスチックバンパーなどの自動車部品、プリント基板などの電子部品へのコーティングに使われている。1960年代後半からの学生運動による反産学協同の動きから、1969年にこの事業は学外に移り、株式会社として再出発し、現在に至っている。大学の先生が開発した技術が実用化を果たし、事業として成功した希有の例である。この際、開発に携わった先生の方針として、開発技術の特許として申請しなかった。このため、開発技術が他社にも早く拡がり、広く使われることにより日本産業の発展に寄与している。特許を申請しなかったことにより、新規技術が世界に拡がった一つの例である。このような特許をあえて申請しないことにより、大学開発の技術を産業界に普及させ、これにより社会に貢献することができる。

国立大学の独立法人化に伴い、設立当初の国立大学法人では、大学で開発した技術は、大学が主体的に特許を申請し、特許収入により大学運営に役立たせようとした。アメリカの大学での成功例にならおうとした。大学での開発技術の企業への移転は、TLO (Technology Licensing Organization: 技術移転機関) に任せようとのことで、TLOが各地に設立された。現在において、国立大学法人の特許収入が増えたか、またTLOが有効に働いているかについては十分な検証が必要だが、国立大学法人における特許戦略については見直しが必要な時点になったと考えている。

特許申請を行うか、海外への申請も行うのか、基本特許のみの申請でよいのか、周辺特許を出せるような包括的な技術開発を行うのか、特許により経済的な利益を生み出せるのか、開発技術を普及させ社会に貢献するにはどうすればよいか、等々、特許をめぐる課題は多い。

大学における特許保有は難しい点を含んでいる。多くの日本の大学では、保有特許を自校で事業化することは行わない。使ってくれる企業がなければ宝の持ち腐れとなる。しかし、特許を使ってくれる企業を探すのは大変である。以前のように、共同開発の企業に特許申請は任すほうがよいのか。

特許の企業への売り込み、特許維持についての判断、特許侵害への対応など、難しい点がいくつもあげられる。私も特許を個人で持っているが、特許侵害について調査はできないし、また対応もできない。維持費の負担も大変である。大学発のベンチャー企業にその役割を任せようとのことで、ベンチャー企業もできたが成功例はまだ少ない。ベンチャー企業に特許を譲渡しても、小さなベンチャー企業では維持能力や調査能力もない。また、ベンチャー企業を設立しても大学のサポートは得られず、逆に足を引っ張られる場合もある。

日本の産業発展の停滞、企業の海外転出、国内での雇用確保などから、大学が日本産業の再生・活性化に果たす役割は大きい。良好な施策を見いだすにはいたっていない。

関東学院大学材料・表面工学研究所は、民間企業からの資金助成により運営している。研究所自身の運営のため、また資金助成の企業への利益還元のため、企業との共同研究においても大学法人のみを出願人とする特許申請を行い、特許は資金助成の企業が有利になる形で優先的に公平に使用できるようにしている。いわゆる会員企業とのコンソーシアム方式をとっている。これがうまく働くかどうかは、申請する特許の内容と質によることは疑いないが、一つの実験として行ってみる価値は十分あると考えている。

目次	
01	やあ こんにちは 産学連携と特許申請 高井 治
02	研究所紹介・ トピックス 太陽電池モジュール の信頼性 増田 淳
06	トピックス ホテルの生物発光反 応に関する未解明課 題への挑戦 丹羽 一樹
09	ご案内
10	To the Overseas Members of the MRS-J

■研究所紹介・トピックス



太陽電池モジュールの信頼性

独立行政法人産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体 連携研究体長 ますだ 増田 あつし 淳

1. はじめに

独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センターでは、平成22年10月1日付けで、佐賀県鳥栖市の産業技術総合研究所九州センター内に、新しい組織として、太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体（以降、連携研究体という）を設けた。連携研究体の構成員は、平成24年7月1日現在で、連携研究体長、主任研究員2名、つくばと兼務の研究員1名、契約職員4名、派遣4名、パートナー研究員1名、共同研究員77名である。九州センター内に新設したクリーンルーム内には、15m程度の市販サイズのモジュールに対応した試作・評価ラインを構築し、以下に述べるコンソーシアムメンバーの研究に供している。4,400m²の屋外曝露サイトでは、薄膜系等の新型市販モジュールを中心に40kW程度のモジュールを九州電力と系統連系運転しており、太陽電池特性の他、日射量、温度等の気象データを10分毎に収集している。将来的には90kW程度まで拡張予定である。図-1には試作・評価ラインで使用している装置の外観写真を示す。

連携研究体では、太陽電池モジュールの信頼性向上ならびに長寿命化に関する研究を行っている。現時点の研究テーマは、主に3つの予算で実施している。「第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」では、民間企業等78機関と共同で、モジュールの信頼性向上、長寿命化に資する新規部材の有効性検証、長期屋外曝露モジュールの劣化要因の解明、複数の要因を組み合わせた複合加速信頼性試験法や試験時間の短縮を目的とした高加速信頼性試験法の開発等に取り組んでいるが、このコンソーシアムは民間資金のみで運営している。屋外曝露サイトでの発電量評価や長期信頼性評価、新しい原理に基づく信頼性試験法や有機系太陽電池に対応した信頼性試験法の開発に関しては、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託研究「太

陽エネルギー技術開発/太陽光発電システム次世代高性能技術の開発/発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」にて実施している。このうち、信頼性試験法開発に関するテーマでは、太陽光発電技術研究組合から研究員を受け入れて共同で実施している。さらに、初期故障の検出に対応した試験とされているIEC規格に定められた認証試験の条件を厳格化し、信頼性の高いモジュールと信頼性の低いモジュールを判別可能な試験法を開発することや、塩水やアンモニアを用いた信頼性試験法の開発については、経済産業省事業「アジア基準認証推進事業費補助金（太陽光発電における信頼性・品質試験方法に関する国際標準化）」にて、太陽光発電技術研究組合、佐賀県工業技術センター、一般財団法人電気安全環境研究所とで共同で実施している。

2. モジュール化技術

太陽電池の長寿命化にはモジュール製造工程でのノウハウに繋がる技術が重要となり、これまでは学術的かつ系統的な研究はあまり行われてこなかったようにも思われる。図-2には結晶シリコン系太陽電池モジュールの断面構造と使用される代表的な部材を示すが、シリコンや化合物半導体を用いた太陽電池の場合、モジュールの寿命を決めるのは、無機材料であるシリコンや化合物半導体から構成されるセルではなく、充填材（接着封止材）やバックシート等の高分子部材あるいはセル間を接続するインターコネクタと呼ばれる配線部材である。これらの材料が長期間屋外で曝露されることにより、材料自身の変質したり、太陽電池セルとの間で剥離を起こすことで寿命が決まる。最近では、太陽光発電の大幅な普及により、設置箇所も、1日の気温差の大きい砂漠や、塩害の懸念される海岸、あるいは酸性雨の影響を受けやすい地域など、従来よりも過酷さを増している。このような様々な環境でモジュールに使用されている部材がどのような変化を起こすかを科学的に解明し、より優れた部材の作製技術にフィードバック

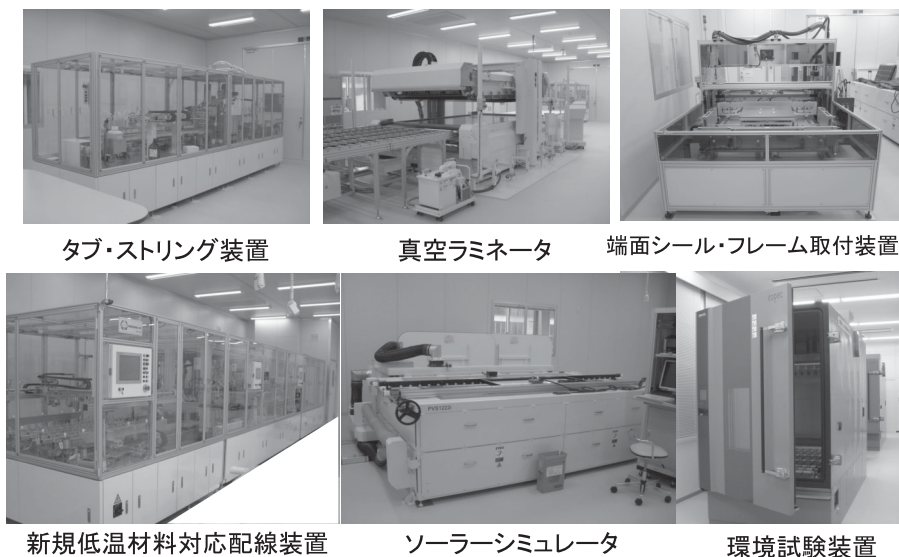


図-1 産業技術総合研究所九州センタークリーンルーム内に構築した太陽電池モジュール試作・評価ラインで使用している装置の外観写真

タブ・ストリング装置

真空ラミネータ

端面シール・フレーム取付装置

新規低温材料対応配線装置

ソーラーシミュレータ

環境試験装置

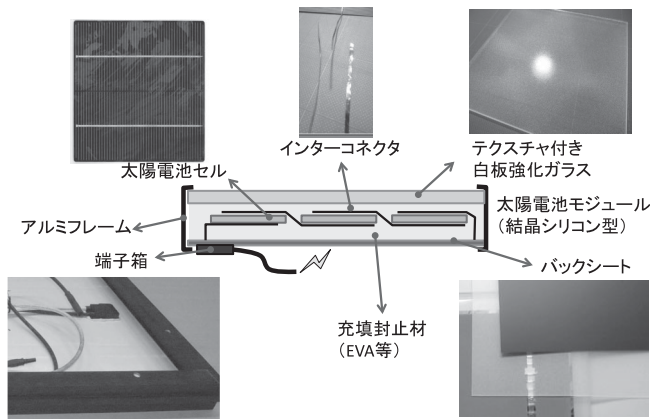


図-2 結晶シリコン系太陽電池モジュールの断面構造と使用される代表的な部材

クすることは重要である。また、部材の改善による長寿命化を図るのみならず、モジュール構造自体の改善による長寿命化も図るべきである。例えば、従来のバックシートを用いた構造のみならず、最近の太陽電池モジュールでは、2枚のガラスで封止された構造も用いられるようになった。一方で、薄膜フレキシブル太陽電池では、ガラスを用いることができないために、封止はフロントシートやバックシートのみに頼らざるを得ない。このように、太陽電池は設置場所のみならず、使われる部材や構造も多様化してきており、長寿命化のためには、それぞれに応じた最適な封止材やモジュール構造を採用すべきであろう。

結晶シリコン系太陽電池を例に、モジュール化技術の詳細について以下に説明する。結晶シリコン系太陽電池セルは、単結晶では10~12cm角程度、多結晶では15cm角程度のものが一般的である。このようなセルをインターコネクタで直列に接続する。インターコネクタとは半田で被覆された銅線である。半田には鉛が含まれているものと含まれていないものがあるが、環境面を考慮して、鉛の含まれていない半田が使用されることも多い。また、インターコネクタを太陽電池セルに接着する工程を「タブ付け」と呼ぶが、この際、一般的にはセル側にフラックスを塗布する必要がある。タブ付けされたセルが接続されたセル列をストリングスと呼び、さらに複数のセル列が横配線で接続されたものをマトリクスと呼ぶ。

通常の結晶シリコン系太陽電池モジュールでは、受光面側には白板強化ガラスをカバーガラスとして用い、受光面側から、カバーガラス、充填材、マトリクス、充填材、バックシートの順に積層（レイアップ）し、真空ラミネートすることで完成する。この際、充填材ならびにバックシートには切り込みを入れ、セル配線を外部に取り出しておく。真空ラミネータは上下2チャンバーの構成になっている。積層体を導入後、上下のチャンバーを真空排気して加熱し、充填材が溶融している状態で、上チャンバーを大気開放することにより、大気圧により積層体をラミネートする。

充填材として最も実績のある材料は、エチレンと酢酸ビニルの共重合体であるエチレンビニルアセテート（EVA）である。EVAの特性はエチレンと酢酸ビニルの比率や鎖の長さで大きく変化するが、太陽電池用途には酢酸ビニル含有率が25~30%程度のものが用いられることが多い。太陽電池用EVAには、架橋のための有機過酸化物質や接着性向上のためのシランカップリング剤等が添加されている。EVAを加熱すると架橋反応により強固に固まり透明となるため、太陽電池セルを固定するには好適である。EVAにはスタンダードキュアタイプの他に、ファースト

キュアタイプもあり、両者でラミネート条件が異なる。最近では、薄膜シリコン系太陽電池を中心に、バックシートを用いずに2枚のガラスでセルを挟んだ、いわゆるダブルガラス構造のモジュールも商品化されているが、この場合には、自動車等で使用されていて貼り合わせガラスの中間膜として実績のあるポリビニルブチラル（PVB）が用いられることも多い。PVBの場合は、モジュール化の際に、真空ラミネータではなく、ニップロールとオートクレーブを使用することも可能であり、タクトタイムの短縮に寄与する。また、PVBは非架橋のため、再加熱によりモジュール作製時のセルの位置修正や、回収されたモジュールのリサイクルが可能である。PVBはEVAに比べて長期保管も可能である。太陽電池モジュールの長寿命化に対する充填材の課題としては、充填材の着色、充填材とセル、ガラス、バックシートとの界面での剥離、あるいは充填材から発生する酸による電極部材の腐食が挙げられる。PVBはEVAに比べて酸の発生が少ないとのメリットもある。また、酸を発生させないシリコンも充填材として古くから使用されている部材である。シリコンを用いたモジュールでは、29年の屋外長期曝露を経ても、最大出力の劣化率がわずかに0.22%/年とのことも報告されている¹⁾。硬化時間がEVAよりも短いこともシリコンの利点である。最近では、酸を発生させない新たな充填材も開発されている。

結晶シリコン系太陽電池のバックシートには、多くの場合、ポリフッ化ビニル樹脂（PVF）/ポリエチレンテレフタレート（PET）/PVFの積層フィルムが使用されている。米国デュポン社のPVFの商品名Tedlarの頭文字を用いて、この構成を「TPT」と略記することも多い。薄膜系太陽電池では、結晶シリコン系太陽電池と比較して、高い水蒸気バリア能を有するバックシートが求められており、アルミニウム箔とPETの積層フィルムが用いられることが多い。しかし、充填材シートならびにバックシートに切り込みを入れて、そこからセルの配線を取り出す必要があるため、バックシート中にアルミニウム箔が用いられていると、セル配線とアルミニウム箔が短絡する恐れがあり、絶縁処理が必要となる。絶縁処理の工程を省略するためには、アルミニウムを積層せずとも高い水蒸気バリア能を有するバックシートが求められている。最近では、シリカ膜を蒸着することで水蒸気バリア能を高めたバックシートも開発されている。

真空ラミネート終了後は、積層体の四辺にアルミフレームを取り付ける。アルミフレーム取り付け時のシール材としては、多くの場合、結晶シリコン系太陽電池ではシリコンが、薄膜系太陽電池ではブチルゴムが用いられている。次に、バックシートから外部に取り出された配線を端子箱内でケーブルと接続する。端子箱内にはポッティング材を充填することで封止する。端子箱の固定材やポッティング材にもシリコンが用いられている。このようにして完成した太陽電池モジュールは、電気特性測定後に梱包、出荷される。

3. モジュールの信頼性

太陽電池モジュールの信頼性を予測する技術も重要である。信頼性試験の方法は、国際規格として、結晶シリコン系ではIEC61215、薄膜系ではIEC61646に定められている。

結晶シリコン系太陽電池モジュールでは、主な劣化要因は長期曝露にともなう温度の上昇・下降によってモジュール内にストレスが発生し、そのことによってインターコネクタと半田接続部にクラックが生じ、結果的に直列抵抗が増大することと考えられている。しかし、温度85℃、湿度85%の高温高湿試験をIEC61215の規格に定められている1,000時間を超えて実施すると、結晶シリコン系といえども最大出力が低下することがある。例えば、規格の2倍の2,000時間の試験後では、TPTバック

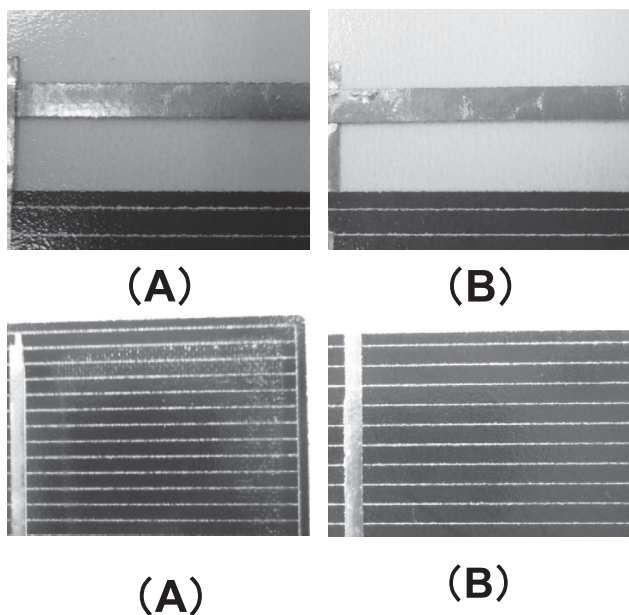


図-3 TPTバックシート(A)ならびにTPTの10倍の水蒸気バリア能を有するバックシート(B)を用いて作製した結晶シリコン系太陽電池モジュールにおける、温度85℃、湿度85%の高温高湿試験2,000時間後の横タブ線(上図)ならびにセル表面(下図)の外観写真

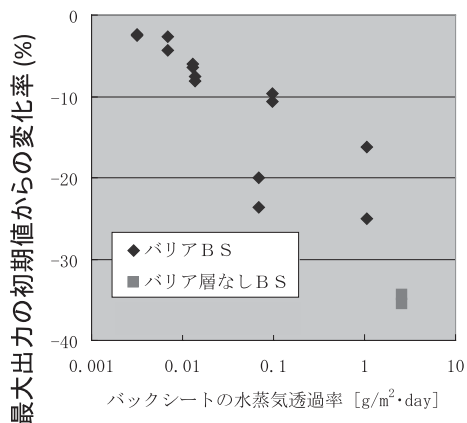


図-4 温度85℃、湿度85%の高温高湿試験4,000時間後における、結晶シリコン系太陽電池モジュールの最大出力の初期値からの変化率とバックシートの水蒸気透過率の関係

シートとTPTの10倍の水蒸気バリア能を有するバックシートを用いたモジュールを比較したところ、次のような結果が得られた。図-3上図に示すように、TPTバックシートを用いた場合は、横タブ線に変色を観測されたり、図-3下図に示すように、剥離が観測されたりするのに対して、TPTの10倍の水蒸気バ

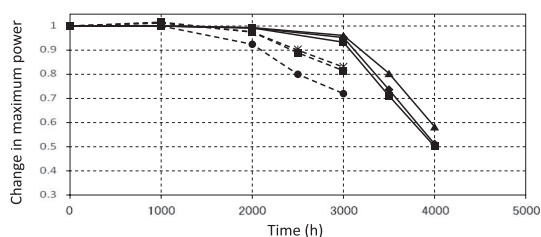


図-5 結晶シリコン系太陽電池モジュール(実線)ならびに薄膜シリコン系太陽電池モジュール(破線)の最大出力の規格値と、温度85℃、湿度85%の高温高湿試験時間の関係。最大出力は初期値を1として規格化した

ア能を有するバックシートを用いた場合には、このような外観上の劣化は観測されなかった。図-4には、規格の4倍の4,000時間の試験を施した場合を示す。認証試験の合格基準は、試験後の最大出力の劣化率が初期値の5%以内であること、であるが、図-4に示すように、この基準を満たすためには、 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 台の水蒸気透過率が必要である。一般的には、結晶シリコン系太陽電池モジュールのバックシートに必要な水蒸気透過率は数 $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ 台と言われている。現行の規格よりも厳しい試験をクリアする信頼性の高い太陽電池モジュールを実現するには、数桁高い水蒸気バリア能が必要であることが示唆される。図-5には、結晶シリコン系太陽電池モジュールおよび薄膜シリコン系太陽電池モジュールの最大出力の高温高湿試験時間依存性を示す。結晶シリコン系では2,000時間程度までは最大出力にほとんど変化はなく、薄膜シリコン系よりも劣化が遅いが、3,000時間を超えると急激に劣化する。図-6にはこのモジュールのエレクトロルミネセンス像を示すが、モジュール性能が低下し始める試験時間は、セル周辺部においてエレクトロルミネセンスの発光強度が低下し始める試験時間とよく一致している。エレクトロルミネセンスの発光強度が低下している箇所のフィンガー電極部を分析したところ、電極厚みの減少、電極上ならびに電極/シリコン界面への鉛の偏析、ナトリウム濃度の増加が観測された。鉛は半田に、ナトリウムはカバーガラスに起因するものと考えられる。このような電極の変性は、モジュール内への水蒸気の浸入により加水分解したEVAから発生した酢酸等の影響によると推測される。

薄膜系太陽電池モジュールでは、結晶シリコン系太陽電池モジュールと比較して、バックシートに一層厳しい水蒸気バリア能が要求されると考えられている。図-7には、TPTバックシート、シリカ蒸着バックシート、アルミニウムを含むバックシートのいずれかを用いて作製した3種類の薄膜シリコン系太陽電池モジュールに対して、TPTの水蒸気透過率を1として規格化した水蒸気透過率と、温度85℃、湿度85%の高温高湿試験1,000時間後の最大出力の初期値からの変化率の関係を示す。図-7より、最大出力の低下を初期値の5%以内に抑えるためには、少なくとも $10^{-3} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 台以下の水蒸気透過率が必要であることが示

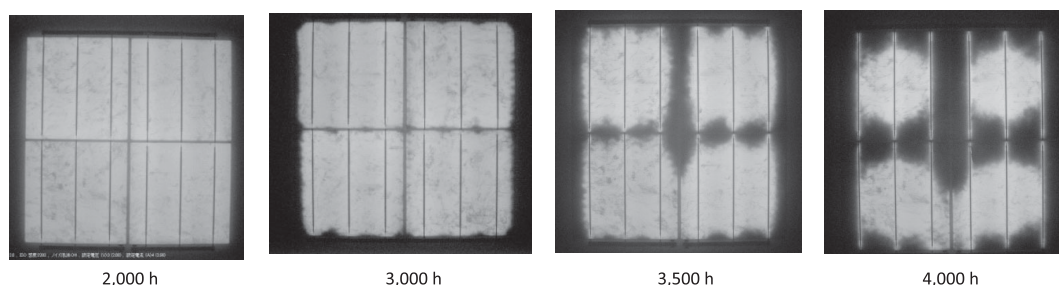


図-6 図-5に高温高湿試験の結果を示す結晶シリコン系太陽電池モジュールのエレクトロルミネセンス像

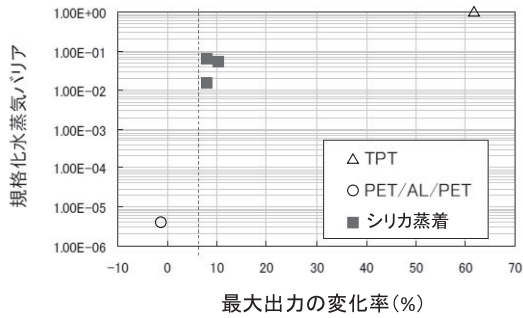


図-7 TPTバックシート、シリカ蒸着バックシート、アルミニウムを含むバックシートのいずれかを用いて作製した薄膜シリコン系太陽電池モジュールにおける、最大出力の初期値からの変化率とバックシートの水蒸気透過率の関係。水蒸気透過率はTPTにおける値を1として規格化した

峻される。しかし、バックシートの初期の水蒸気透過率だけではなく、水蒸気バリア能が劣化しないことも重要である。簡単な計算によれば、水蒸気バリア能の経時劣化が現行どおりならば $10^{-5} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 台の水蒸気透過率でも不十分であるものの、水蒸気バリア能の劣化を現行よりも半減すれば、 $10^{-3} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 台の水蒸気透過率でも十分であるとの結果も得られている。

このように、薄膜系のみならず結晶シリコン系においても、モジュールを劣化させずに長寿命を維持するためには、モジュール内への水蒸気の浸入を抑止することが重要である。そのためには、水蒸気バリア能の高いバックシートの開発が重要である。さらに、ダブルガラス構造をとったとしても、水蒸気はモジュール端面からも浸入するので、エッジシール材もモジュールの長寿命化に重要である。また、意外に見落とされがちであるが、バックシートに切り込みを入れて配線を取り出し、端子箱内でケーブルと接続しているため、端子箱内のポッティングや、切り込み箇所からの水蒸気の浸入を抑止する構造も重要である。一方で、水蒸気が太陽電池に直接悪影響を与えているのではなく、水蒸気が充填材と反応して発生する酸が太陽電池の配線等を劣化させていると考えられる。長期間にわたり屋外に曝露されるモジュール内への水蒸気の浸入を完全に抑止することは不可能と考えられるので、たとえ水蒸気がモジュール内に浸入しても加水分解して酸を発生させない充填材の開発も重要である。充填材にシリコンを用いたモジュールで劣化が小さいことは前述のとおりであるが、このモジュールでは特段水蒸気バリア能の高いバックシートを使用しておらず、また、シリコン自体の水蒸気透過率も高いことを考えれば、むやみにバリア能の高いバックシートを求めてコスト増に繋がるよりも、酸を発生させない充填材の開発に重点を置いた方がよいとも考えられる。高温での配線工程を回避したいヘテロ接合や薄膜系等の太陽電池では、導電性フィルムを用いた配線も使用されることがあるが、高分子を使用するため、この場合も水蒸気浸入の影響を検証する必要がある。一方で、通常のインターコネクタを用いた結晶シリコン系の配線部材に対しては水蒸気の影響はないと考えられるが、接合部の劣化を抑えるには、温度の上昇・下降によるストレスの影響を受けにくい、いわば、しなやかな配線部材の開発も重要となる。

屋外に設置した太陽電池モジュールは、温度、湿度の他にも、光照射、モジュールに印加される電圧、モジュール内を流れる電流、風圧、降雹、降雪、黄砂、海岸近くでの塩水、酸性雨等、様々な劣化要因に曝される。一方で、信頼性試験による加速試験は、このうちの二つないし二つ程度の劣化要因しか含んでいない。さらに認証試験では、様々な加速試験をそれぞれ別個のモジュールに対して施している。したがって、信頼性試験の結果か

ら屋外曝露時の加速係数や寿命を算出することは極めて難しい。一つのモジュールに複数の試験を交互に実施することや、複数の劣化要因を組み合わせた試験法を開発し、屋外曝露に近い環境での試験を行うことが重要であろう。また、前述のように、認証試験に使用されている高温高湿試験1,000時間では、一般的な結晶シリコン系太陽電池モジュールの性能に低下は見られず、3,000時間を超えると性能低下が始まるが、このことは、現在用いられている試験条件は、モジュールの信頼性の良否を判定するには不十分で、信頼性の高いモジュールも、信頼性の低いモジュールも、いずれも認証試験に合格し、数年後には不良を発現する可能性のあるモジュールが市場に出回することを示唆している。つまり、信頼性の高いモジュールが正当に評価され、市場に粗悪品が出回らないようにするためにも、試験条件の厳格化が必要となる。ただし、単純に試験時間を長くすれば、認証に要する時間が長くなり、コスト増に繋がったり、商品の開発サイクルが長くなり、太陽電池メーカーにとって必ずしもプラスにならない。一方で、例えば試験時の温度や湿度を上げることで、試験時間の短縮を図ろうする考え方もあるが、この場合も、屋外曝露で生じる環境と線形性が保たれないような厳しい条件を与えることは無意味である。このように、信頼性試験法開発には、様々な制約があるが、太陽電池モジュールの屋外曝露時の寿命を正確に可視化でき、信頼性を担保できる試験条件の探索が急務である。

4. まとめ

太陽光発電の一層の発展には、発電コストの低減が必須である。本稿では、発電コスト低減に重要な役割を果たす信頼性向上、長寿命化の鍵を握るモジュール化技術や、モジュールの信頼性について、産業技術総合研究所で実施している「第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」の研究成果を中心に紹介した。本年7月1日からは、固定価格での全量買い取り制度が日本でも開始されたが、長期にわたって安定した発電量を得るためにも、モジュールの信頼性に大きな関心が寄せられるようになってきている。高信頼性・長寿命モジュールの開発とともに、モジュールの信頼性、寿命を正確に判定できる試験法が開発が、今後一層重要性を増してくると考えられる。

謝辞

3章に示したデータは、産業技術総合研究所が主催する「高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」で得られたものであり、民間企業からの派遣研究員ならびに所内関係各位に感謝する。なお、3章に示したデータに関しては、上述のコンソーシアム成果報告書に詳細が記載されており、入手を希望される方は筆者まで連絡願いたい。

【文献】

- 1) 伊藤厚雄, 大和田寛人, 降旗智欣, 金亨培, 山川直樹, 柳沼篤, 今瀧智雄, 渡邊百樹, 阪本貞夫: 第9回次世代の太陽光発電システムシンポジウム予稿集, 2012, p.54.

連絡先

増田 淳

独立行政法人産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体 連携研究体長

〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1

e-mail: atsushi-masuda@aist.go.jp

トピックス



ホタルの生物発光反応に関する未解明課題への挑戦

独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門 光放射標準研究室 丹羽 一樹

1. はじめに

ホタルに代表される生物発光は古くから人々の興味を惹く魅力的な自然現象であり、古くはアリストテレスの時代から研究文献が残されている。17世紀には発光反応に空気、すなわち酸素が必須であることが示されているが、この時代に酸素は未だ発見されていなかった。この例のように生物発光研究が常に時代の最先端(?)であったがゆえに、後世の検証による加筆、修正を要する事態がしばしば発生する。多くの発光生物の発光酵素ルシフェラーゼがクローニングされ、発光基質ルシフェリンについても構造決定および有機合成が成功し、派生的に発見された GFP がバイオ研究に欠かせないツールとなることでノーベル医学生理学賞の対象になるなど、大きな成功を収めている一方で、未だ解決されていない課題も残されている。

本稿では、ホタル生物発光反応に関する最近の研究成果を2つ紹介したい。ひとつは発光反応基質であるルシフェリンの生合成経路について、もうひとつは発光反応量子収率についてである。どちらも古くから研究され、いくつかの実験に基づく論文報告に基づく定説がありながら、その後の研究の進展が見られない課題であった。その背景と問題解明に向けた取り組みの概要を説明する。

2. ルシフェリン生合成

2.1 背景

ホタルルシフェリンは不斉炭素をもつ。White らが1961年に化学構造を報告したときに、有機化学合成により発光活性を有する光学異性体を決定している。D-ルシフェリンの構造が単純で有機合成も比較的容易であったため、生合成経路も早い時期に推定されていた。さらに放射能標識した化合物の取り込み実験など

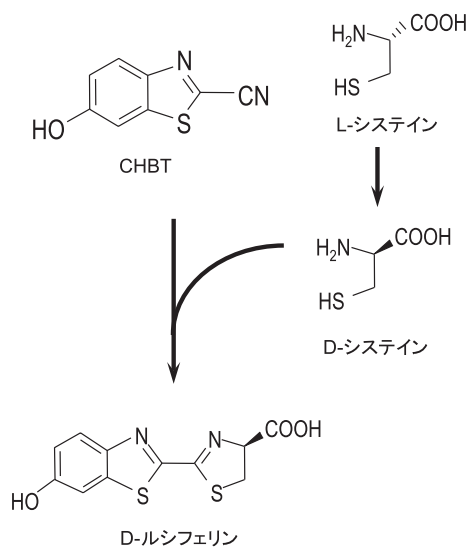


図-1 これまで考えられてきた生合成経路仮説

により、図-1に示す経路が定説として確立された。これをもとに生合成を担う酵素の遺伝子が単離できれば、遺伝子工学技術により目的の細胞内でルシフェリンを生産させることが可能となる。現状ではルシフェラーゼを発現させた細胞や個体などにルシフェリンを投与する必要があるが、生合成酵素遺伝子が利用できれば投与の必要がなくなり、その恩恵は計り知れない。それにもかかわらず、生合成酵素を探索する研究に進展は見られなかった。

2.2 生合成経路の検証

図-1に示された経路を精査したところシステインの異性化反応のステップが実験的に証明されていないことがわかった。そもそもシステインの異性化という反応自体、生体内のイベントとして合理的とは考えにくい。システインは蛋白質を構成する20種類のL-アミノ酸のひとつであり、その光学異性体であるD-システインは通常は排除されるべき化合物である。それにもかかわらず天然物として発光活性があるD-ルシフェリンの構造はD-システインを含んでいる。逆にシステインとして天然型であるL-システインからは発光活性を持たないL-ルシフェリンができてしまう。本当にホタルはD-システインを合成しているのだろうか。またL-ルシフェリンが合成されてしまうことはないのだろうか。

このような疑問をきっかけに、ホタルの体内のルシフェリンとシステインのキラル分析を行うことから研究を開始した。その結果これまで非天然の物質と考えられてきたL-ルシフェリンをホタルの個体サンプルから検出することができた¹⁾。さらにヘイケボタルの成長段階を追ってルシフェリンの定量的キラル分析を行ったところ、幼虫からサナギを経て成虫に至る過程で、ルシフェリンの総量および光学純度が上昇していることが明らかとなった(図-2)。ヘイケボタルが餌を摂るのは幼虫期のみであり、サナギはもちろん成虫も餌を摂らない。そのため図2の結果はホタルの体内でD-ルシフェリンが合成されていることを示しており、餌(タニシなどの水棲巻貝)由来ではないことになる。

2.3 生合成反応

これまで非天然物質と考えられていたL-ルシフェリンが生合

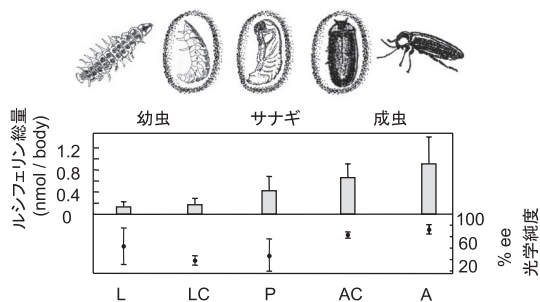


図-2 ホタルの成長とルシフェリン量

成中間体である可能性が出てきた。それでは、ホタルはL-ルシフェリンを異性化して発光基質であるD-ルシフェリンを合成しているのであろうか。これを確かめるためにホタルの発光器から蛋白質成分を抽出し、L-ルシフェリンと混合した。その結果、速やかに異性化が進行することを確認できた¹⁾。この異性化活性はヘイケボタル、ゲンジボタル、北米産ホタルの発光器でも確認できた。さらに異性化反応には発光器の蛋白質以外にもATP、マグネシウムイオン、補酵素Aが必要であることがわかった。以上のことから、現在想定されている生合成反応の詳細を図-3に示す。

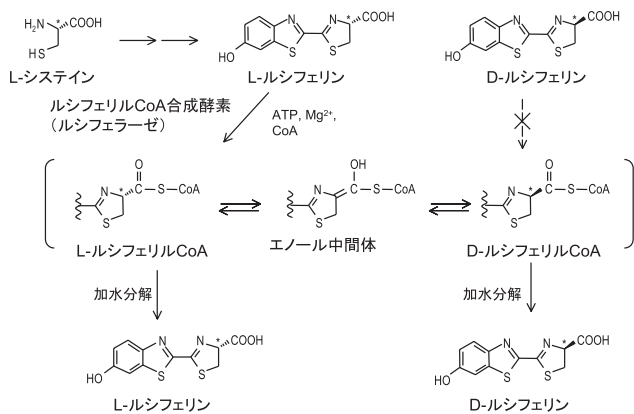


図-3 光学異性体を経由するルシフェリン生合成経路

ここでさらに興味深いのは、この異性化に発光酵素であるルシフェラーゼが関わっていることである。即ち、ルシフェラーゼは発光反応だけでなく基質の生合成をも担っている。ルシフェラーゼはもともと脂質の代謝に関与するアシル CoA 合成酵素という酵素から進化したと考えられている。これはアミノ酸配列の相同性からわかることであるが、実はルシフェラーゼは今でも祖先としてのアシル CoA 合成活性を失っておらず、脂肪酸を CoA 化する活性を有している。そしてさらに重要なことに、発光しないために非天然物質と考えられていたL-ルシフェリンに対しても、この CoA 化活性を有している²⁾。このことは発光基質 D-ルシフェリンの構造活性相関を調べていて偶然明らかになったことであるが、これがルシフェリンの異性化反応にとって重要な意味を持つ。L-ルシフェリンがルシフェラーゼにより CoA 化されてルシフェリル CoA になると、エノール化によりラセミ化しやすくなる。ここで立体選択的に加水分解されれば効率よく発光基質のD-ルシフェリンが生成される。たとえ非選択的に加水分解されてラセミのルシフェリンが生成したとしても、L-ルシフェリンは再び CoA 化されてラセミ化する。結果として、発光基質であるD体が蓄積されることになる。ホタルはこのような反応により、L-システインからL-ルシフェリンを経由して発光基質を生合成していると考えられる。

ただし、L-システインとカップリングするベンズチアゾール環部分の生合成過程はまだ明らかにされていない。今後残された課題である。

3. 量子収率

3.1 背景

ホタルの生物発光反応はエネルギー効率が非常に良く、光以外のエネルギーをほとんど放出しないことで広く知られている。これを裏付ける実験データは発光反応量子収率が 0.88 ± 0.25 という

ものであり、その意味するところはルシフェリン1分子が反応すると約9割の確率で光量子が1つ発生し、残り1割は光量子ではなく熱になるというものである。実はこの報告は半世紀も前の古い研究であり、しかもそれ以降まったく追試されていないという状況であった。また、その報告がされた1959年にはルシフェリンの構造も未解明で、実験に用いられた天然抽出のルシフェリンには不純物が混在していた可能性が高いことが後に報告されている。そもそも光源から全空間に放出される光を定量的に、さらに分光的に正確に測定することは今でも決して簡単なことではなく、近年話題のLED電球の明るさですら正しく測れていないことがあるのが現状である。

我々は2008年、東京大学物性研究所の秋山研究室の協力のもと、分光的に校正された測定装置を用いた再実験を行い、 0.41 ± 0.07 という結果を得た³⁾。この結果は従来の効率の約半分であり、さらなる検証が求められることとなった。検証方法として最も好ましいのは、全く独立した測定システムを用いることである。またこのとき用いた測定装置は試行錯誤を経て構築された高度なものであり、同じ方法を他の研究グループが再現することは難しい。生物発光および化学発光の研究で広く使用されているルミノメータという簡易発光測定装置の絶対感度を校正し、発光反応の定量的な解析に対する要望も広く聞こえるようになってきた。

一方、これまでの報告は北米産ホタルのルシフェラーゼによるもののみであったが、今では多くの発光甲虫ルシフェラーゼがクローニングされており、中には普通のホタル（黄緑色：最大波長560 nm）とは異なる赤色（同640 nm）で光る鉄道虫や、アミノ酸置換により作られた色変異体など、興味深い酵素が多く知られている（図-4）。これらは全て同じルシフェリンが同じ反応機構によって発光しており、酵素の種類によって多様な発光色を示しているが、量子収率の実験データは全く得られていない。

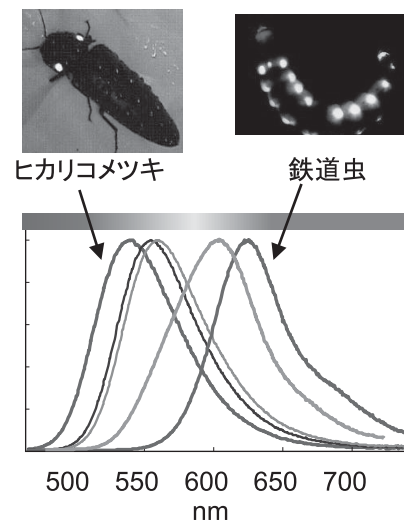


図-4 ホタル生物発光反応の多様な発光色

このような状況を受け、ルミノメータの絶対感度校正法の確立と、多様なルシフェラーゼの量子収率測定を行った。

3.2 絶対感度校正法

ルミノメータのような光検出装置の感度校正を行う最もシンプルな方法は、絶対発光量が明らかで定常的に発光するリファレンス光源を標準として校正することである。このリファレンス光源

は、形状そしてスペクトルともに発光試薬と同じでなくてはならない。形状が異なると光検出素子である光電子増倍管 (PMT) に到達する光子数が変わり、またどのような検出器にも分光感度特性があり、光源のスペクトルによって感度が変わるためである。ここでは量子収率測定を行うホタル発光反応溶液の組成を工夫して定常的に発光する反応溶液を調製して利用することができる。問題は、このリファレンス光源の絶対発光量を決定する方法である。

我々は光放射計測の分野で用いられる積分球と光放射国家標準を用いた方法により、発光反応溶液のための絶対分光測定装置を構築した⁴⁾ (図-5)。積分球とは、内面を拡散反射剤 (硫酸バリウム粉末) で塗装した球状のオプティクスであり、球内の光源の配光と光放射強度を平滑化する機能がある。これを用いることで、球内の光源から全空間方向に放出される全光子と、壁面の穴を通して外部から直線的に導入した光子束を同等に測定することができる。この積分球式分光測定装置の絶対分光感度を分光放射照度標準電球により校正した⁴⁾。次にリファレンス発光溶液の発光量再現性に対する懸念を除くため、調製した発光溶液を二つに取り分け、積分球とルミノメータで同時に測定し、リファレンス発光溶液の総光子数とルミノメータに表示される測定値 (カウント値) の関係、即ち絶対感度を決定した。最後に、絶対感度が校正されたルミノメータを用いて、発光反応量子収率を測定した³⁾。

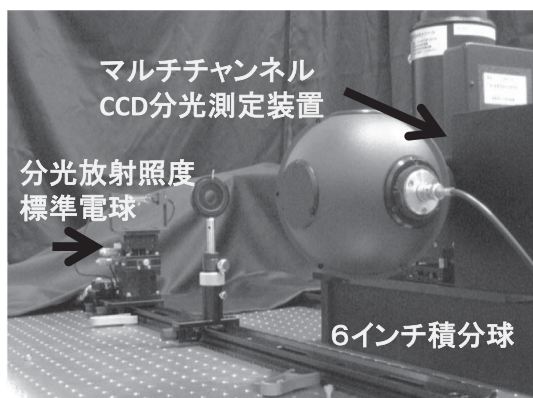


図-5 積分球式分光測定装置

3.3 多様なルシフェラーゼの量子収率

表-1 に量子収率測定実験の結果の代表的なものをまとめた^{4),5)}。北米産ホタルの量子収率は前回とほぼ同じであり、互いの妥当性が示されたといえる。

発光波長と量子収率の関係をまとめると図-6 のようになる。これから明らかのように、発光極大波長が短い (青い) 酵素ほど量子収率は高く、最大であったのはヒカリコメツキの約 0.6 であった。半世紀前の 9 割には及ばないが、やはりホタル生物発光反応の効率の高さは特筆に価する。逆に量子収率が最も低かったのは最も波長が長い (赤い) 鉄道虫の 0.15 であった。その他、

表-1 各種ルシフェラーゼの量子収率

ルシフェラーゼ	λ_{Max} (nm)	量子収率*
ヒカリコメツキ	539	0.61±0.08
鉄道虫 (頭部)	625	0.15±0.03
ゲンジボタル	565	0.45±0.08
ミヤコマドボタル (WT)	554	0.45±0.08
ミヤコマドボタル (変異体)	606	0.21±0.07
北米産ホタル	562	0.48±0.07

* 測定のばらつきとルミノメータの校正における不確かさを含む

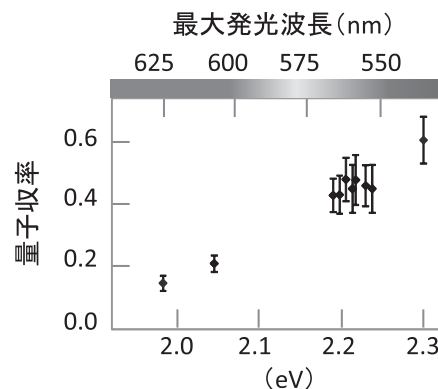


図-6 発光色と量子収率の関係

多くのアミノ酸変異酵素の量子収率を測定したが、およそ図 6 の関係は維持されており、最低でも 0.1 を下回るものは見つからない。これら変異体の中には発光活性が著しく損なわれているものもあるが、それでも量子収率は損なわれておらず、発光量の低下は酵素反応速度論的な要因と酵素そのものの安定性に起因するということが明らかとなった⁵⁾。

4. おわりに

ホタルの生物発光反応の研究の歴史が古いため、もう既に研究され尽くされていると思われるかもしれない。私自身、この研究を始める前にはそのような印象を持ってきた。しかし歴史が古いということは、主要な発見もかなり早い時期になされているということでもあり、最新の科学の進展を踏まえて改めて見直すことで新しい展開が見込める可能性を残している。このように前向きに考えることで、「古くて新しい」研究成果が得られている現状を紹介させていただいた。しかし、生合成はその後半部分が明らかになったにすぎず、量子収率は測れるようになったけどもいえる。課題はまだ残されている。生物発光研究は日本の研究者が大きな成果を残してきた分野である。このような伝統に少しでも貢献していければ幸いである。

謝 辞

本研究では、(独)産業技術総合研究所バイオメディカル研究部門・近江谷克裕部門長 (北海道大学大学院医学研究科教授) のご指導ご助言を頂きました。また同健康工学研究部門・中島芳浩グループ長、計測標準研究部門・市野善朗研究室長、東京大学物性研究所・秋山英文准教授、兵庫県立大学大学院工学研究科・加藤太一郎助教をはじめ、多くの方々のご助力を頂きました。ここに謹んで感謝いたします。

【参考文献】

- 1) Nakamura, M., et al. (2005) *Bioch. Biophys. Res. Commun.*, **331**, 471-475
- 2) Niwa, K., et al. (2006) *FEBS Letters*, **580**, 5283-5287
- 3) Ando, Y., et al. (2008) *Nature Photonics*, **2**, 44-47
- 4) Niwa, K., Ichino, Y., Ohmiya, Y. (2010) *Chemistry Letters*, **39**, 291-293
- 5) Niwa, K., et al. (2010) *Photochem. Photobiol.*, **86**, 1046-1049

連絡先

(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 光放射計測科
光放射標準研究室 丹羽一樹
〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 つくば中央第 3-1
Tel. 029-861-4249 Fax. 029-861-4860
<http://www.nmij.jp/>

ご 案 内

■第22回日本MRS学術シンポジウム—エコイノベーションの創造につながる先進環境材料研究の動向と課題

主催：日本MRS (<http://www.mrs-j.org/>)

会期 平成24年9月23日(日)～25日(火)

会場 横浜みなとみらい地区 横浜ワールドポーターズ6F会議室(〒231-0001 横浜市中区新港2-2-1)

日本MRS学術シンポジウムは、本年で22回目を迎えます。本年は下記の要領により、IUMRS-ICEM2012(電子材料国際会議)と併催いたします。本シンポジウムでは、産業の活性化と地球環境問題を両立させるための革新的な技術を創出するため、新規機能の探索、新規材料の創製、新規シンプルプロセスに関する分野横断的なテーマについて討論する。多様な材料の専門家が領域融合的な情報・技術交換を行いながら、電子材料以外の先進環境材料にスポットを当てる。

日本MRS学術シンポジウム実行委員会

組織(実行)委員長 原 一広(九大)/奨励賞担当 節原裕一(阪大接合研)/出版担当 伊熊泰郎(神奈川工科大)/広報担当 有沢俊一(物材機構)/事務局 鈴木淳史(横浜国大院)(担当:中岡留依子、田島くらら(鈴木研))

セッションテーマ

▽セッションA: バイオマス利用の最近の進歩 代表チェア: 岡部敏弘(青森県産業技術センター)/連絡チェア: 柿下和彦(職業能力開発総合大学校)

▽セッションB: グリーンピーク実現のための次世代材料技術 代表チェア: 東 雄一(本田技研)/連絡チェア: 上野智永(名古屋大)

▽セッションC: ソフトマテリアル—ゲルサイエンス 基礎・バリエーション豊富な応用—代表チェア: 三俣 哲(山形大理工学研究科機能高分子工学)/連絡チェア: 清田佳美(東洋大経総合政策学)

参加登録費(Program & Abstract CD代込み)

IUMRS-ICEM2012への事前登録者は、3,000円

IUMRS-ICEM2012への非参加者は、会員(一般 8,000円/学生 4,000円)、非会員(一般 18,000円/学生 10,000円)当日会場にて現金受付。

論文出版は、一般論文誌 Trans. MRS-J より行います。

懇親会(IUMRS-ICEM2012と同時開催)

日時: 2012年9月26日(水)午後6時半(予定)

場所: 横浜大棧橋 会費: 10,000円 当日会場にて現金受付。

登録 研究発表者(登壇者)は、研究発表申込書と Abstracts を事務局にメール添付で送付。聴講者(発表のない参加者)は、参加申込書を事務局にメール添付で送付。Webを使用せずマニュアルで実施します(事務局メールアドレスに送付をお願いします)。

登録申込み先・問合せ先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 横浜国立大学大学院環境情報研究院 鈴木淳史研究室(担当: 中岡留依子、田島くらら) E-mail: mrsj-s@ynu.ac.jp

■IUMRS-ICEM2012

主催 IUMRS・日本MRS

日時・場所 2012年9月23日(日)～28日(金)、パシフィコ横浜、横浜市

内容 5 plenary lectures

Symposium—A Electronic Materials for Sustainable Society, B. Electronic Materials and Devices, C. Advanced Materials for

Next-Generation Electronics, D. Modeling, Fabrication, Processing and Evaluation of Advanced Electronic Materials をテーマに、39 technical symposium.

Forum—F-1. Materials Engineering for Sustainable Energy and Environment, F-2. Materials Education Strategies for Rapidly Changing World, F-3. Developing a Collaborative Materials Education Network.

登録

・ Member of MRS-J or IUMRS, Member of Academic Societies in Cooperation, Resident in Japan ¥70,000/Non-Member/Resident in Japan ¥80,000/

Overseas (Non-Student) US\$700

・ Student Member of IUMRS or MRS-J, Member of Academic Societies in Cooperation, Resident in Japan ¥40,000/Student (Non-member and Resident in Japan) ¥50,000/Overseas Student US\$450

問合せ先 The Society of Non-Traditional Technology

Tel. +81-3-3503-4681 Fax. +81-3-3597-0535

E-mail: iumrs-icem2012@sntt.or.jp

■Sōmiya Award 2012 の受賞者決定

材料科学分野において優れた研究成果を残した国際共同研究チームを表彰する Sōmiya Award 2012 が、英国、米国、日本及びスペインの4か国5研究者からなるチームに贈られることが決まった。共同研究テーマは「Design of ionic and mixed conducting ceramics for fuel cell application」。

受賞者は、

国際研究チーム代表: John A. Kilner 教授 (Imperial College London, 英国)

研究チームメンバー: Harry L. Tuller 教授 (MIT, 米国)、Tatsumi Ishihara 教授 (九州大, 日本)、Jose Santiso 博士 (CIN2, スペイン)、Bilge Yildiz 助教 (MIT, 米国) の5名。

受賞対象研究及び表彰式に関する情報は以下のとおり。

Sōmiya Award 2012 の表彰式は、9月27日18時から、conference hall of IUMRS-ICEM2012。Professor John Kilner の Award lecture の演題は、「Oxygen Ion Conductors: Straining at the Leash?」。

詳細 <http://iumrs-icem2012.org/schedule/index.html>

■新刊紹介

▽ *Transactions of the MRS-J*, Vol. 37, No. 2, 2012 が出版されました。

・ IUMRS-ICA2011 総説1、一般論文8; ・ 第21回MRS-J学術シンポジウム(2011)、Session A Frontier of Nano-Materials Based on Advanced Plasma Technologies 7, Session B Innovative Material Technologies Utilizing Ion Beams 9, Session H Computational Approaches to Studying Lattice Defects and Nanostructures: Toward Novel Materials Development 1, Session I Soft Materials—The Frontiers that Biosupramolecules and Polymers Open Up-1, Session L Fabrication, Characterization and Application of Molecular Thin Films—Structural Analysis and Control Toward the Realization of Novel Functions—総説1、一般15、Session M Recent Progress in Nano-structured Materials—Function and Applications 8, Session T Energy Materials Frontier 2、一般投

稿 2

■協賛シンポジウム等案内

▽2012 International Conference on Flexible and Printed Electronics: ICFPE2012、9月6日(木)~8日(土)本会議、9月5日(水)Pre-Conference、東京大学安田講堂、工学部新2号館、東京大学染谷研究室・田代陽子、someya-sec@ee.t.u-tokyo.ac.jp
 ▽最先端材料が拓くマイクロ・ナノ工学の新展開、MRS-Jと日本機械学会「マイクロ・ナノ工学シンポジウム」の共同セッション、10月22日~24日、北九州国際会議場・西日本総合展示場、と協賛し、共同企画セッションを実施いたします。
 日時・場所 10月22日~24日、北九州国際会議場・西日本総合展示場

<http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/mnm2012/index.html>、日本MRS事務局：general-inf@mrs-j.org

■IUMRS 関連会議

▽IUMRS-ICA2012, August 26-31, 2012, Busan, Korea, ica2012@iumrs-ica2012.org
 ▽IUMRS-ICEM2012, September 23-28, 2012, Yokohama, Japan, MRS-J, iumrs-icem2012@sntt.or.jp
 ▽International Conference of Materials on Advanced Technologies (ICMAT2013), June 30, 2013-July 05, 2013, Singapore, MRS-Singapore, eileenso@mrs.org.sg
 ▽IUMRS-ICAM2013, September 24-28, 2013, Qingdao, China, <http://www.iumrs-icam2013.org/>



To the Overseas Members of MRS-J

■Industry-university Cooperation and Patent Application in Japan p. 1

Vice Director and Professor Dr. Osamu TAKAI, Materials and Surface Engineering Research Institute, Professor Department of Industrial Chemistry, Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin University

Kanto Gakuin University in Yokohama, Japan has a long history of industrialization of electroless plating on plastics. This university established a fabricating lab within the campus in 1946 and developed techniques of electroless plating on plastics for the first time in the world. These techniques are used for the coating on automobile and electronic parts. A professor developed the techniques had a policy of no application of patents. Then the techniques spread to many industries quickly, and contributed the development of Japanese economy. On the other hand, national university corporations have a policy of application of own patents now, but there are many problems about this policy. I summarize the problems related to patent application in universities in this note.

■Reliability of photovoltaic modules p. 2

Dr. Atsushi MASUDA, Collaborative Module-Reliability Research Tram, Research Center for Photovoltaic Technologies, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

High reliability and long lifetime of photovoltaic modules are one of the most important factors for lowering the cost of photovoltaics. Various types of polymer materials and interconnector ribbons are used in module-manufacturing processes. Since those materials determine the reliability of modules, development of novel materials are essential for reliable modules

with lifetime longer than 30 years. Acceleration-test method is also important for clarifying exact lifetime of modules. Such technological issues will be discussed in this article after brief introduction of our organization.

■Update on Firefly Bioluminescence Reaction p. 4

Dr. Kazuki NIWA, Optical Radiation Section, Photometry and Radiometry Division, AIST

Firefly bioluminescence is an oxidizing reaction to produce photons. Despite its long history, there are two major unsolved problems. One is the biosynthesis of the substrate D-luciferin and the other is the high quantum yield (QY) of photon production. Recently, some findings have been made after cautious consideration of existing hypotheses and careful experiments. First, contribution of L-luciferin for the biosynthesis was confirmed, although L-luciferin is the stereoisomer of luminous active D-luciferin and has been believed as xenobiotic. Next QY was re-examined to be 0.1~0.6 and was found to correlate with the luminescence color. These findings gave a new insight to firefly bioluminescence research field, which would lead to invent new applications.

■Sōmiya Award 2012

International research collaboration group headed by Professor John A. Kilner (Imperial College London, UK), and members of Prof. Tatsumi Ishihara (Kyushu Univ., Japan), Prof. Harry L. Tuller (MIT, USA), Dr. Jose Santiso and Assistant Prof. Bilge Yildiz (MIT, USA) has been awarded the 2012 Sōmiya Award under the title "Design of Ionic and Mixed Conducting Ceramics for Fuel Cell Application."

編後記 第30回ロンドンオリンピックが開会した。ちょうど7年前、シンガポールで開催されたIUMRS-ICMAT2005の最中に、パリが最有力候補との予想を覆してロンドンでのオリンピック開催が決定した。ICMAT2005の基調講演者の一人、フランスのRaveau博士の最後の1枚のスライド、“Trafalgar, Waterloo, Singapore, you did it again!”が頭に残っている。MRSとは関係のない話で恐縮だが、4年に一度開催される小さな国際学会がある。ICTAC(国際熱測定連合)の学会を日本に招聘するまでには、ブラジル、米国の戦いがあつた。2004年は悔し涙をのんで2008年にブラジルに赴き、2012年に大阪で8月に開催する権利を得た。競技はいつかの勝負だが、開催地を巡っての勝ち負けは残るのだろうか。

今年の9月24日からはIUMRS-ICEM2012が横浜で開催される。招聘段階からの関係者のご苦労いかほどだろう。その労に報いるべく、ぜひ多くの方々にご参加いただきたい。(小棹)

©日本MRS 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科 中川研究室内

<http://www.mrs-j.org/> E-mail: nakagawa@pe.titech.ac.jp

日本MRS ニュース編集委員会 第24巻3号 2012年8月10日発行

委員長: 中川茂樹(東京工業大学大学院理工学研究科)

委員: 寺田教男(鹿児島大学大学院理工学研究科)、小棹理子(湘北短期大学情報メディア学科)、川又由雄(芝浦メカトロニクス)、岩田展幸(日本大学理工学部)、Manuel E. Brito((独)産業技術総合研究所)、松下伸広(東京工業大学応用セラミックス研究所)、小林知洋((独)理化学研究所)、伊藤 浩(東京工業高等専門学校)

顧問: 山本 寛(日本大学理工学部)、大山昌憲(サーフクリーン)、岸本直樹((独)物質・材料研究機構)

編集: 清水正秀(東京CTB) 出版: 株式会社内田老鶴圃 印刷: 三美印刷株式会社