

2019年 9月27日 (金)	第72回 UV/EB 研究会 (サンエイビル)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・超小型・低加速電子線照射装置 ・美術工芸品補修への電子線照射利用 ・突然変異と量子ビーム ・銅含有酸化ガラスにおけるラジオフォトルミネッセンス挙動 	ウシオ電機 (株) 小池一字 東京文化財研究所 佐野千絵 量子科学技術研究開発機構 田中 淳 京都工芸繊維大学 角野広平
2019年 10月25日 (金)	第70回放射線科学研究会 (サンエイビル)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・動物を用いた放射線発がんの研究 ・原子力機構における核分裂研究の成果と取り組み ・照射脆化予測とリスク評価 ・量子ビームにより作製するダイヤモンドの単一欠陥とその応用 	量子科学技術研究開発機構 今岡達彦 日本原子力研究開発機構 西尾勝久 京都大学 森下和功 量子科学技術研究開発機構 小野田 忍
2019年 11月22日 (金)	第73回 UV/EB 研究会 (非破壊検査ビル)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・低エネルギー電子線による卵殻の殺菌技術と内部線量の評価 ・次世代ナノリソグラフィのための材料開発 ・小型電子加速器の開発 ・量子ビームによる極微細加工材料研究 	東京都立産業技術研究センター 片岡憲昭 東京工業大学 早川晃鑑 金属技研(株) 吉田昌弘 量子科学技術研究開発機構 山本洋揮

第70回 UV/EB 研究会聴講記

標記研究会は平成30年11月16日 (金) 午後1時半から5時半まで住友クラブにおいて、大島明博氏 (大阪大学)、森本雅史氏 ((株)NHVコーポレーション)、桂 一郎氏 (元日本電子照射サービス(株))、中宗憲一氏 ((株) アクロエッジ) の4名の講師をお招きして開催した。座長は前半2件を、田中 実氏 (コーガアイソトープ(株)) が、後半2件を寺澤隆裕氏 ((株)NHVコーポレーション) が務めた。なお、講演会終了後、講師の先生を囲んで技術交流会が行われた。

1. 量子ビーム誘起グラフト反応を用いた材料の開発—高分子アクチュエータへの応用—

大阪大学大学院 工学研究科 大島明博

有機材料の機能性改質方法の1つとして放射線グラフト重合法がある。本講演では、放射線グラフト重合法の解説のあと、燃料電池用電解質膜、高分子アクチュエータへの応用に関する最近の研究例を紹介いただいた。講演では、まず放射線グラフト重合法に関する説明があった。放射線グラフト重合法とは、放射線を有機材料に照射したときに生成されるラジカルを起点として異種材料を接ぎ木して改質する方法である。図2に示すように、放射線グラフト重合法には、有機材料に対して、酸素不在下 (捕捉ラジカル法) または大気中 (過酸化ラジカル法) において放射線照射を行なったのち、基材中に捕捉されたラジカルに対し、モノマー、ダイマーなどの異種材料を化学反応させて機能性の改質を行う後グラフト法と、基材とともに機能化したい異種材料を塗布させた状態で放射線照射することにより化学反応を起こさせる同時グラフト重合法がある。2つの方法には、それぞれ利点、欠点がある。例えば、後グラフト重合法



図1 講演中の大島講師。

では、試料を前もって照射できるため、委託照射が可能となり、コスト低減が図れる、グラフト率制御が反応温度と時間で可能となる、などが利点として挙げられる。一方、中間活性種に有限の寿命があるため、照射後の低温保管が必要、基材に耐放射線性が要求される、などが欠点である。これに対して、同時グラフト法の利点は、中間活性種の寿命に依存しないこと、反応が瞬時であるため、高い生産性があることなどであり、欠点は、高いグラフト率が得にくいこと、照射を他機関に委託できないため、照射装置が必要となること、などである。

次に、放射線グラフト反応を利用した実用例についての説明があった。代表的な実用例としては、ポリエチレン (PE) にアクリル酸をグラフト反応させたボタン電池用隔膜や、クリーンルーム維持用のエアフィルターとして、PET芯材にPEをコートした不織布にスルホン酸をグラフト反応させた強酸性カチオン膜などである。

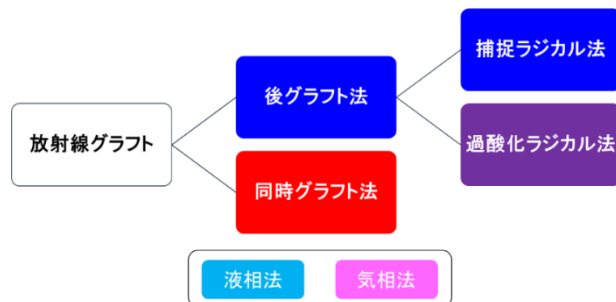


図2 種々の放射線グラフト法。

講演の最後に、放射線グラフト重合法による最近の

研究例として、固体高分子型燃料電池用電解質膜や高分子アクチュエータへの応用が挙げられた。燃料電池は発電時に温室ガスを排出せず、またその燃料である水素は資源の枯渇化の心配もないことから、これからの発電デバイスとして期待されている。中でも家庭用や自動車用として応用が期待されているのが固体高分子型燃料電池 (PEFC) である。PEFCは電解質膜 (PEM) を電極2枚で挟み込んで作成された膜-電極複合体 (MEA) から構成される。講演者らは、従来のDuPont社のNafion膜に代表されるパーフルオロ系PEMの代わりに、化学安定性の高いフッ素有機材料に室温・酸素不在下で放射線照射し、スチレンをグラフト重合してスチレン分子をスルホン化することにより部分フッ素化PEMを合成した。60°Cにおける発電試験の結果、既存のNafion膜に比べて10%の出力向上が得られた。また、講演者らは、阪大産研に設置された110kV以下の加速電圧による照射が可能な電子加速器からの超低エネルギー電子ビームによるエネルギー付与特性を利用して、スルホン酸基濃度分布を膜内部において空間制御することにより、プロトン輸送方向に傾斜機能を持つ電解質膜の開発も行っている。

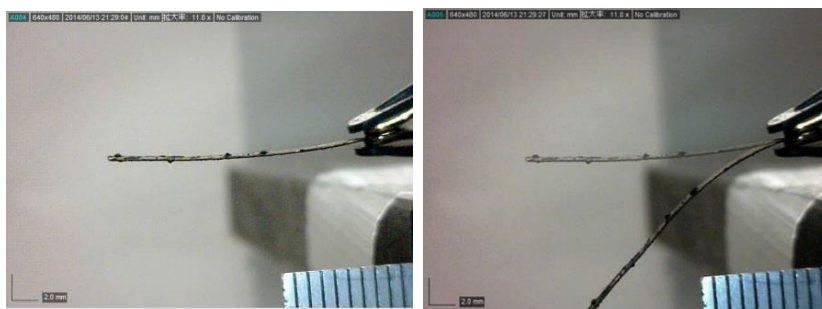


図3 アクチュエータの電圧印可に伴う動作挙動。

電極金属を高分子電解質膜 (PEM) の両面に貼り付けた IPMC (Ion Polymer-metal composites) アクチュエータは、軽量性、柔軟性を併せ持ち、小型化が比較的容易なことから、人工筋肉等の医用分野への応用が期待されている。現在、IPMC アクチュエータの電解質膜 (PEM) 部分には、DuPont 社の Nafion 膜が広く用いられているが、Nafion 膜は高価であり、今後の研究・普及に際して問題がある。講演者らは、スルホン酸基、またアクリル酸基を基材となる高分子に導入することで PEM を合成し、その両面に電極を設置し、IPMC アクチュエータを作製した。作製したアクチュエータにファンクションジェネレータを用いて電圧を印加、動作試験を行った。図3に、電圧印可前後での動作結果を示す。電圧の印加により今回作成したアクチュエータが動作したことがわかる。

本講演では、グラフト重合の基本から、最近の研究例まで広範囲にわたった解説が行われ、分野外の参加者にもわかりやすかったと思われる。これからの社会におけるエネルギー生産、医用分野へのグラフト重合の応用がますます期待される。

(岩瀬彰宏 記)

2. 電子線照射装置の工業利用と利用拡大

株式会社 NHVコーポレーション加速器事業部 森本雅史

電子線照射の工業利用は 50 年以上に渡る歴史があり、タイヤ業界、電線業界など幅広く利用されている。また殺滅菌分野や炭素繊維の製造工程に利用されるなど、様々な分野で広がりを見せている。本講演では EPS (Electron beam Processing System) について、照射技術の概要、工業利用の現状、新規利用分野に関して、NHV コーポレーションにおける電子線照射サービスも含め、紹介していただいた。



図 1 講演中の森本講師。

まず初めに電子線照射装置 (EPS) の概要説明があった。EPS は加速エネルギーによりエリア型とスキャン型の 2 つの型に分類される。スキャン型の装置は加速電圧が 300kV 以上の中・高エネルギーが必要な分野に利用されており、図 2 に示すように加速管内で加速されたスポット状の電子線に磁場をかけ、被照射物の幅に合わせて走査する方式である。一方、エリア型の装置は加速電圧が 300kV 以下の低エネルギーの分野に利用され、図 3 に示すようにフィラメントを被照射物の幅に合わせて複数本配列し、電子源と照射窓部との間に高電圧を印加して真空チャンバー内で加速する。電子を走査 (スキャン) するかしないかが 2 つの型での大きな相違点である。

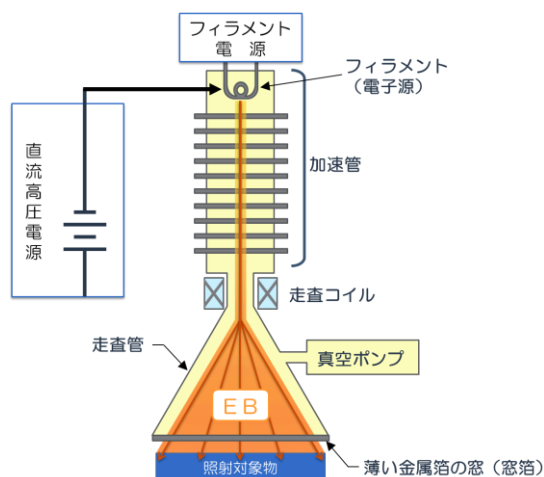


図 2 走査型 EPS の構造。

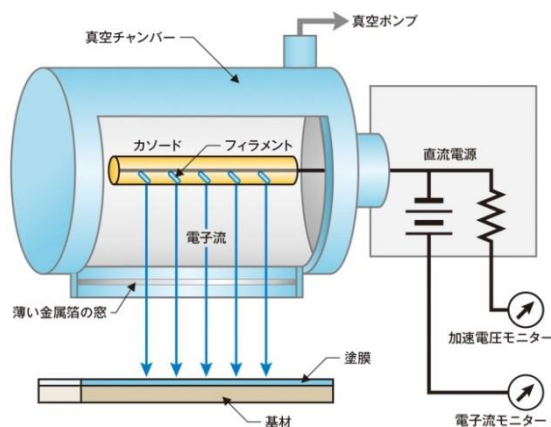


図 3 エリア型 EPS の構造。

次に、電子線照射の重要なパラメータである加速電圧 (エネルギー) と電子流の説明があった。加速電圧は電子の透過深さを決定する重要な要素であり、図4で示すように、加速電圧が高いほど電子は材料の深くまで透過し、より厚い材料をできるが、一方で、加速電圧が大きくなればそれだけ装置の規模も大きくなってしまいます。電子流は照射処理能力に寄与し、電子流が大きいかほど照射処理能力は向上する。

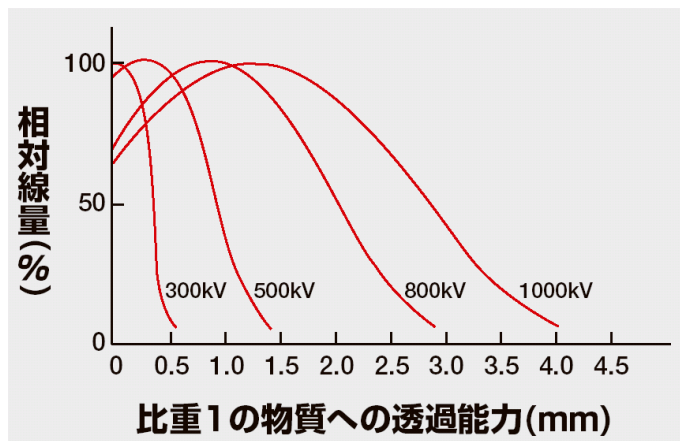


図4 各エネルギーの電子線の透過能力曲線。

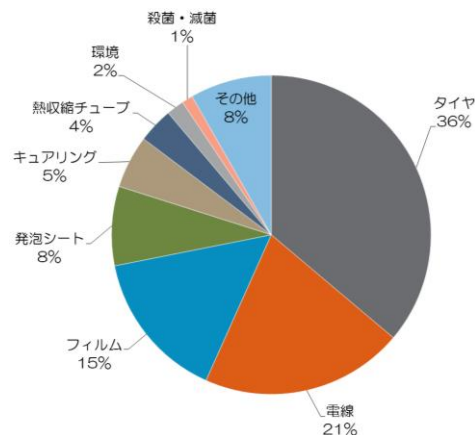


図5 NHVC の EPS の分野別納入実績。

続いて、従来のEPSの利用分野に関する説明があった。図5は、NHVコーポレーションがこれまでに納入したEPS利用分野のグラフである。タイヤ、電線など自動車関連材料が多くを占めるが、最近では、炭化ケイ素繊維の製造工程に利用されるなど、新たな分野への広がりも見せている。電子線照射による架橋反応の代表例はタイヤへの利用である。電子線を予備架橋としてインナーライナー等に照射することで、ゴムの使用量を削減することができ、またコードのずれを防ぐことができるため、寸法精度が高まり歩留まりを向上できる。架橋反応の電線への利用では、被覆材であるポリエチレン等が電子線照射による架橋反応で耐熱性が向上する。電子線グラフト反応の利用としては、衣類などの生地電子線グラフト重合技術を用いて消臭や吸湿発熱などの機能を付与することが行われている。さらに電子線照射は、硬化技術への応用も多く行われている。電子線硬化は重合開始剤や溶剤の必要が無く、低環境負荷であることや、架橋密度が高く耐候性が高いことが特徴である。耐候性の高さから屋外用のパネルや看板などのトップコートに利用されており、耐擦傷性や耐汚染性を向上した化粧シートが室内建具や収納家具に利用されている。表1に硬化技術によく用いられる紫外線と電子線の比較を示す。さらに電子線照射は医療器具などの滅菌にも多く利用されている。

表1 各エネルギーの電子線の透過能力曲線。

	電子線硬化	紫外線硬化
重合開始剤の添加	不要	必要
硬化温度	室温+数℃	40~80度
硬化時間	1秒以内	数秒~数十秒
架橋密度	相対的に高い	相対的に低い
硬化厚さ	数μm~数mm	数μm~100μm
硬化雰囲気	不活性ガス中	通常大気中
基材への影響	条件により有り	無し

以上のような利用分野に加えて、最近炭化ケイ素繊維の製造工程で電子線照射が利用されるようになってきているとのことである。炭化ケイ素繊維は、軽量で、かつ、耐熱性、強度を有する材料であり、電子線照射を行うことで1700℃といった高い耐熱性が実現されている。

本講演では、電子線照射が我々の住む社会で使われている多くの材料の機能向上に活用されていること、さらには、これからの先進材料の機能改質にも大きく役立つことが示された。しかし、このように電子線照射が社会一般の材料に対して活用されていることは、多くの人にはまだ十分理解されていないように思われる。いろんな機会を通じて、多くの人に電子線照射の実情を知っていただくことが必要である。

(岩瀬彰宏 記)

3. 事業としての電子照射センター

元日本電子照射サービス株式会社 桂 一郎

講師は放射線照射利用促進協議会（JAPI）のニューズレターで何回にも亘って、電子線照射や電子照射センターについて紹介している。今回の講演では、電子照射センターの概要を紹介するとともに、事業としては具体的にはどのようなものであるかについて、設置条件、設立費用、運営コストやその回収などの事業運営の面に重点を置いて講演された。



図1 講演中の桂講師。

放射線照射による素材の改質や加工は 60 年以上の歴史があり、広く実施されている技術である。一般に放射線源としてはガンマ線や電子線が用いられている。照射や線量管理を必要とされる水準で正確に実施するための施設や装置はかなり高価なものとなり、比較的少量の製品を処理する企業や団体ではこれらの装置や施設を保有して処理することは困難である。そこで考えられたのが、照

射サービスセンターである。照射センターは電子線なりガンマ線を発生する設備を設置した施設を設け、ここで顧客の製品の受託照射を行うものである。これらの施設は 1960 年代末から 70 年代初めにかけて欧米で開設され始め、我が国でもほぼ同時期に開設が始まっている。ただ電子線照射センターは当初加速器の性能が十分でなかったため電子加速器メーカーのデモ施設といった趣が強かった。しかしエネルギー 4～5MeV 級の加速器が実用化になると、欧米で高分子改質や滅菌の実用化事業が開始されるようになり、80 年代に入ると欧州で 10MeV、20kW クラスの線形加速器を用いた高エネルギーの照射センターが登場し、香辛料や食肉加工製品といった食品分野の照射も始まるようになった。わが国ではガンマ線の施設が先行し、コバルト 60 を線源とする最初の照射センターが 1969 年に開所、1970 年にも別の企業が本格的なガンマ施設を稼働し始めている。表 1 は現在稼働中の照射センターの概要である。

表 1 稼働中の電子照射サービス事業体。

社名	事業所	施設仕様	所在地	稼働年	備考
NHVコーポレーション	京都EBセンター	200、800keV	京都市	1981	
	前橋EBセンター	3MeV	前橋市	1999	
	九州EBセンター	800keV	佐賀県鳥栖市	2008	
アイエレクトロンビーム		300keV	埼玉県行田市	1988	岩崎電気子会社
住重アテックス	つくばセンター	5MeV150kw	茨城県つくば市	1989	旧日本電子照射サービス
	関西センター	5MeV200kw	大阪府泉大津市	1998	
ラジエ工業		5MeV150kw	群馬県高崎市	1991	
伸晃化学		5MeV150kw	石川県白山市	1995	
原子燃料工業		10MeV200kw	大阪府熊取町	1999	
日本照射サービス		5MeV150kw	茨城県東海村	2009	
関西エレクトロンビーム		10MeV200kw	福井県敦賀市	2010	関電子会社

典型的な電子照射センターには、加速器と発生する X 線を防護するためのシールド、製品を搬送するためのコンベヤ装置、未照射製品及び照射済み製品の保管場、製品の受け入れ、出荷を行う出入荷ポートに加えて、放射線管理に必要な放射線量測定を行う設備と器具、それらで得たデータを管理、フィードバックして照射作業の確実性を担保し品質保証を行うシステムが必要になる。更に滅菌試験室、照射

製品の強度や化学特性を検査するラボなどを設置しなければならない。またそれらを建設するための土地が必要であり、所要面積は外構部を含めて 6,000m²以上が望ましい。

その他、電子照射センターを滞りなく運用するためには、照射により発生するオゾン除去装置、冷却システム、受電装置など種々の設備、装置が必要になる。また事務所、什器類も準備しなければならない。表 2 に初期コストの概略を示す。

年間の操業経費は人件費、機器、施設の償却費、借入金の金利、電気、用水などのユティリティ費、その他施設の保守管理費などが考えられる。ここで所要人員は 15 名、保険や厚生費を入れて 800 万円／人として計算する。また費用は全額借入金で支払い金利は 3% の利率とする。そうすると年毎の経費は約 435 百万円となる。まとめると表 3 のようになる。

表 2 照射センター 概略初期コスト。

No	項目	形式	仕様	費用 (M¥)	備考
1	照射装置				
1-1	加速器	ロードトロン TT300	10MeV/200kW	1,600	X線含まず
1-2	アンダービーム	パレット照射		50	
1-3	搬送装置	ローラコンベヤ	全長90m×1.2m 最大20m/m、自動反転装置	50	
			小計	1,700	
2	工場				
2-1	建屋	軽量鉄骨	50×50m、シールド最大厚3mコンクリート	300	
2-2	土地		6000m ² 工業団地	100	概算
2-3	保管ラック			30	
			小計	430	
3	試験設備				
3-1	線量測定	分光光度計など	CI、線量計、初期分含む	20	
3-2	微生物検査	クリーンルーム	クリーンベンチ、インキュベータ	30	
			小計	50	
4	運搬具				
4-1	フォーク		3台		リース
4-2	パレット		必要量		リース
5	事務所				
5-1	事務什器	家具類	事務机、椅子、キャビネット等	10	
		PC		5	
			小計	15	
			合計	2,195	

表 3 年間操業経費。

項目	単価(M¥)	数量	合計(M¥)	備考
人件費	8	15	120	
償却				
加速器	123	1	123	償却期間13年
建屋	12	1	12	26年
設備	5	1	5	13年
			140	
金利	65	1	65	3%全額借入
ユテリティ	60	1	60	3000h/y稼働
維持管理他	50	1	50	
			435	

次に損益の推移の推定値が示された。9年での黒字化が示されたが、それまで耐えられる資金力が必要である。事業の性質上照射センターの売り上げは一旦黒字になると、その後黒字になる傾向が多いとのことである。

電子照射センターは現在転換期にある。線源が電子線に加えて X 線が加わろうとしているから

である。欧州では 7MeV/700kW の X 線変換装置を備えた加速器がすでに稼働を始めている。これが一般的になれば、ガンマ線にとって代わることも十分考えられる。ONSA の講演としては少々異色なものであったが、多くの方が興味を惹いた講演であった。(義家敏正 記)

4. UV 硬化における in-situ 評価技術

株式会社アクロエッジ 中宗憲一

株式会社アクロエッジ 1986 年に創業された、自動粘度計、定量吐出装置、蛍光センサー、血清量測定装置、小型引っ張り試験機、延伸機等各種精密測定装置等の開発、製造を行ってきたメーカーである。大手化学メーカー及び大学や国立研究機関等の難易度の高い特殊な開発依頼にも対応できる、迅速な体制を構築している。

UV 硬化樹脂に代表される光硬化樹脂は、デジタルカメラ、スマートフォン、高性能フィルムなど量産製品にとって今や不可欠な樹脂となっている。電子機器製品の寿命サイクルもどんどん短くなり、今や 3 年でその寿命を終えてしまう電子機器が 70% に達している。短期間で莫大な生産量を確保し、その製品の品質を担保するためには、生産管理の中にトレーサビリティを組み込む必要がある。今回は、株式会社アクロエッジの製品が市場のどのような分野で、どのように使われ方をしているかについての説明と、Curea (UV 硬化レベルを判定するセンサー) を中心とした製品の概要及びそこに使われている技術の紹介がなされた。主な製品は以下のとおり

である。*Caisits (カイツ) : 従来品の感度 10 倍の表面改質レベルの判別するセンサー。 *Curea : UV 硬化センサー。 *Custron (カストロン) : 樹脂硬化収縮物測定装置。 *Stency (ステンシー) : 小型引張試験機で 試験機駆動部の大きさが 150mm×250mm、重さ 1 kg と小型・軽量の引張試験機。 *振動疲労試験機。 *Uvira: UV-LED 照射器。 *Uvion: V-LED Devices、レキシブルな UV-LED セグメントにより、多様な装置の幅と照射距離に合わせる事が可能。 *毛細管式自動粘度計: ガラス製毛細管式粘度計使用測定装置。 *中子用バリ取りロボット: 6 軸ロボット使用の複雑なバリ取り可能な装置。

次に Curea と Caisits の詳しい説明がなされた。Curea は UV 硬化樹脂の硬化の程度を全く新しい方法で測定する装置である。非接触、非破壊そして実時間測定が可能である。原理は図 2 に示すように装置に内蔵する微弱な UV 光を物質に当てて励起光とし、被検体から発する蛍光を測定するもので



図 1 講演中の中宗講師。

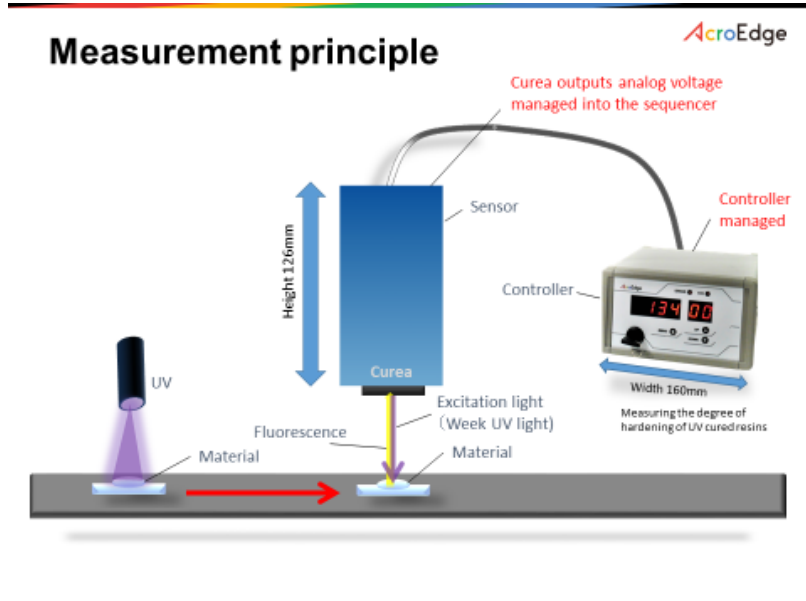


図 2 Curea の計測原理。

ある。紫外線硬化樹脂では、多くの場合、硬化が進むに連れて蛍光が変化するため、硬化状況を測定することが出来る。ただその蛍光発光の原理はまだ未解明とのことである。UV硬化樹脂によるフィルム接着など、サンプルがガラスやフィルムに挿まれている場合でも、そのまま測定することが可能である。インラインの検査に最適で、室内照明や硬化用紫外線下でも安定した測定が可能である。また硬化状況を硬化用紫外線を照射しながら測定することができ、経時変化を観察することが可能である。センサーヘッドが小型で軽量(約900g)なため自動ステージやロボット等に取り付けられるとのことである。

表面改質センサー Caisits (カイツ) は、プラズマ処理、コロナ処理、フレーム処理等の表面改質レベルの判別用途の製品である(図3)。プラズマ・コロナ処理等によって表面改質された物質の表面に紫外線を照射すると、その表面から蛍光が放射される。放射された蛍光量を測定することにより、改質の有無・定量性が測定できる。

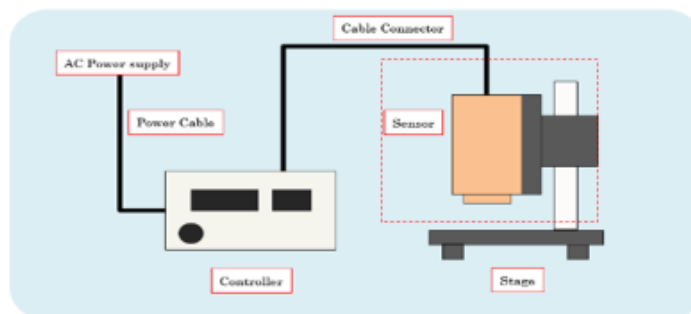
サンプルに触れることなく測定ができるため、非破壊の検査が可能である。フルモデルチェンジが実現した結果、プラズマ・コロナ処理前・処理後の差異がよりはっきりと判別できるとのことである。プラズマ処理やコロナ処理などの表面改質処理後の検査だけでなく、電子基板などの汚れ検査、表面の油の検出、及びその他洗浄時などの検査にも効果的であることがわかってきている。更に近年では、自動車軽量化にかかわる各工程での表面状態の検査に用いられるなど、図4に示すようにその用途は広がってきている。

株式会社アクロエッジの蛍光測定は蛍光分析より感度が高い。今後は将来の劣化の診断も視野に入れているとのことである。企業理念の最初に“常識を覆すアイデア”とあるが、その英訳が“Crazy Idea”であった。更なるCrazyな製品の開発が期待される。

(義家敏正 記)

Device Configuration

AcroEdge



CONTROLLER		SENSOR PART	
Size (WxDxH)	160x230x88 mm	Size (WxDxH)	72x104x126 mm
Power supply	85-264V _{AC}	Cable length	2000m
Digital display	4 digits		
	Negative display LED		
Analog output	±5V		

図3 Caisitsの構成。

Applications of Caisits

AcroEdge



図4 Caisitsの応用。