

THE CHEMICAL TIMES

KANTO CHEMICAL CO., INC.



2012 No.4 (通巻226号)

ISSN 0285-2446

フラットパネルディスプレイ概論(10) FPDの将来展望	鵜飼 育弘	2
感染症四方山話(4)：感染性心内膜炎	菊池 賢	8
遷移金属触媒とヒドロシランを用いる合成化学の新展開(Ⅱ)：ヒドロシランの機能は、還元剤だけではない。	西形 孝司 永島 英夫	14
集光型太陽熱発電(CSP)方式とその現状	西村 啓道	18
最近のトピックス		24



フラットパネルディスプレイ概論(10)

FPDの将来展望

Introduction to Flat Panel Display (10) The future view of FPD

Ukai Display Device Institute 代表 工学博士 鵜飼 育弘
YASUHIRO UKAI Ph.D.

Ukai Display Device Institute

1. はじめに

2010年に始まった「フラットパネルディスプレイ概論」もいよいよ今回が最終となった。FPD業界は一部の企業を除いて元気がなくなっている。また技術者も「夢の壁掛けTV」を実現したものの、かつてのチャレンジ精神を失いつつある。しかし、人間生活にディスプレイは欠かせない存在で、今後ますます重要になると思われる。そこで、最終章はFPD産業の光と影を述べ、次世代FPDとして欠かせない薄膜トランジスタの将来展望と要求される移動度の関係および脱真空・脱フォトリソグラフィによるロール・トゥ・ロール(R2R)への期待について述べる。最後に、若い技術者に託すメッセージを述べたい。

2. FPD産業の光と影

ディスプレイ技術者にとって長年の夢だった「壁掛けTV」は実現した。壁掛けTVに代表されるように、ディスプレイ技術のイノベーションで我々のライフスタイルは大きく変わってきた。

かつてFPDの目標はCRTの置き換えであったが、これからはFPDが新しい世界を切り開いていく時代となっている。FPDの技術革新に伴って、新しい商品が我々の生活の中の溶け込み、ライフスタイルが大きく変貌を遂げている。この流れは今後ますます加速するであろう。身の周りのあらゆる場所に様々な形態のディスプレイが存在する世界「アンビエント」の到来である。

TFT-LCDの生産方式は、半導体の生産方式と同様

にガラス基板毎に処理をする枚葉方式を採用している。ガラス基板サイズは、第1世代(約300mm角)から現在の第10世代(約3m角)となり、設備投資も数千億円と巨額になっている。TFT-LCDはFPDとして揺るぎない地位を確立しているが、更なる特性の向上と相まって省エネルギー、省資源といった環境対応技術分野(グリーン化)でも大きな進展を見せている。ポストフルハイビジョン用ディスプレイを目指す要素技術開発も活発で、この分野の最新情報から目が離せない状況である。今後は、この連載(5)の図2に示したように脱真空、脱フォトリソグラフィによるロール・トゥ・ロール(R2R)方式への期待が高まっている。この方式で生産されるFPDはフレキシブルであり、用いられる材料も無機から有機材料へと変わるものと思われる。図1にディスプレイの技術および市場推移とロードマップを示す。

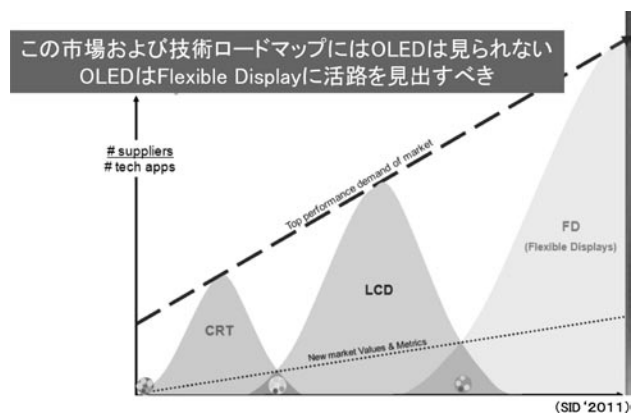


図1 FPD技術および市場推移とロードマップ

一方、調査会社によると2010年以降FPD市場は飽和と言われている。しかし、FPDは人間生活に欠

かせないデバイスであり(連載(1)参照)、新規デバイスの開発と合わせて新しい応用分野を切り開いてきた。したがって、FPDは持続的成長が可能な産業と言える。図2には、フレキシブルディスプレイ実現への道程を示す。現状のガラス基板を用いたディスプレイの堅牢性(Unbreakable)を高めることから始める。つぎに、曲げられるBendable Displayへと進化し、最終目的であるRolled DisplayとしてのFlexible Displayを実現する。ここで用いられるであろうディスプレイとしてはOLEDやEPD(電気泳動ディスプレイ、電子ペーパー)が考えられる。

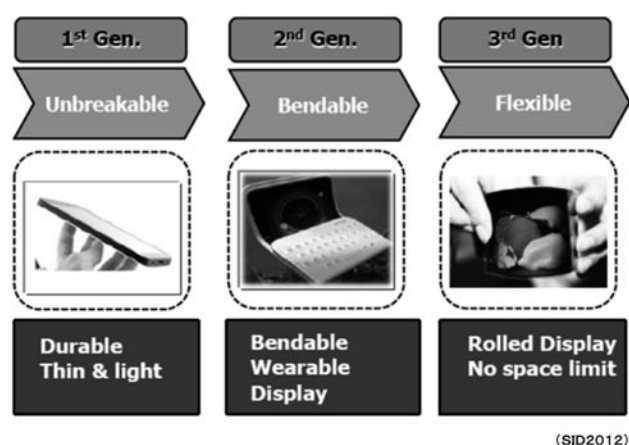


図2 フレキシブルディスプレイのロードマップ

日本のFPDメーカーは、世界のFPD産業に対して多大の貢献をしてきた。最大の貢献は、技術者が寝食を忘れてFPDという技術を研究開発から量産技術を確立し製品開発に導いたことある。その過程で、日本メーカーは多くの経験やノウハウを積んできた。例えば、製造装置、部材、製造・プロセス技術など豊富な経験とノウハウを持っている。しかし、現状は、日本のFPDメーカーに元気のある会社は少なく、技術者もかつてのチャレンジ精神を失いつつある。

FPDメーカーおよびFPD-TVメーカーは軒並みに赤字である。しかも、アジアのメーカーが赤字で苦しんでいるのは裏腹に、欧米の部材メーカーやセットメーカーは巨額の利益を得ている。このパターンは昨今、固定化してきたように思える。一橋大学沼上幹商学部長は、「ディスプレイ産業の巨額投資に対する極端な反省論は思考停止を生む」と警告する¹⁾。さらに「日本企業には戦略思考力を高める以外に競争力向上の道はない」と言い切る。我々技術者には、今一度消費者目線

に立ち戻り、消費者が「わくわく」する商品開発に取り組む必要がある。技術開発は、「儲かって何歩の世界」である。我々にはビジョンを持ち、目標に向かって果敢に挑戦することが求められている²⁾。

ここからは、次世代FPDとして欠かせない薄膜トランジスタの将来展望と要求される移動度の関係、脱真空・脱フォトリソグラフィによるロール・トゥ・ロール(R2R)への期待について述べる。

3. 薄膜トランジスタの将来展望

薄膜トランジスタが電子デバイスとして初めて実用化されたのは、a-Si TFTとLCDの特徴を上手く活かしたa-Si TFT-LCDである。当初は、3型の小型ディスプレイからは始まった商品化は、現在では100型を超えるものが商品化されていることは既に述べたとおりである。ディスプレイの面積化と相まって、高精細化への需要が高まっている。2003年から始まった地上デジタル放送に対応したフルHD(1080 × 1920)が既に商品化されている。また、TFT-LCDの応答特性を改善するために、フレームレートが従来の倍速(120Hz)駆動のデバイスが商品化され、3D対応のLCD-TVでは4倍速(240Hz)が実用化されている。

小型ディスプレイから大型ディスプレイに至るまで、基本的なデバイス構造およびプロセスを順守できるデバイスは、数あるフラットディスプレイ中a-Si TFT-LCDのみである。しかし、更なる高精細化および高フレームレート対応には、現状のa-Si TFTは限界である。高精細化の動向として、2005年10月から配信放送が開始されたデジタルシネマ[2k × 4k(2160 × 4096) 1k × 2k(1080 × 2048)]や2015年試験放送開始、2020年から2025年に実用放送が予定されているスーパーハイビジョン(4k × 8k)には、a-Si TFTのスイッチング特性では対応できない。TFTのスイッチング速度は、移動度に逆比例するため、高精細化、ハイフレーム駆動を実現するにはa-Si TFTの移動度(0.5cm²/Vs)の10倍以上の移動度を有するTFTが求められる。

4. TFTに要求される移動度³⁾

TFTには、選択時間 T 内に、液晶容量 C_{LC} および蓄

積容量 C_S を所定の電位に充電する能力が求められる。TFTの選択時間 T (s)は、走査線数 n 、60Hzを基準とした駆動フレーム比 m を用いて、

$$T = \frac{1}{60 \times n \times m} \quad (1)$$

で表され、高解像度化、駆動フレームレートの高速化に伴ってTFTの選択時間 T が短縮される。

一方、TFTによる画素充電に必要な時定数 τ (s)は、液晶容量 C_{LC} (F)、蓄積容量 C_S (F)、TFTのON抵抗 R_{TFT} (Ω)を用いて、

$$\tau = R_{TFT} \times (C_{LC} + C_S) \quad (2)$$

で表され、大面積化、すなわち画素容量($C_{LC} + C_S$)の増加とともに充電に必要な時定数 τ が増加する。

TFTのON抵抗 R_{TFT} (Ω)は、TFTが線形領域で動作している場合、電界効果移動度 μ (cm^2/Vs)、チャネル長さ L (μm)、チャネル幅 W (μm)、ゲート絶縁膜の単位面積当たり容量(C_{INS})、TFTのゲート電圧 V_G (V)、ドレイン電圧 V_D (V)、しきい値電圧 V_t (V)を用いて、

$$R_{TFT} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1}{\mu \frac{W}{L} C_{INS} (V_G - V_t)} \quad (3)$$

で表される。

TFTによる画素の充電が、選択期間内に余裕をもって終了するには、 $\tau \ll T$ を満足する必要がある。これよりTFTの要求移動度は、

$$\mu \gg \frac{(C_{LC} + C_S)}{\frac{W}{L} C_{INS} (V_G - V_t)} \times 60 \times n \times m \quad (4)$$

で表現され、大面積化による画素容量の増大、高精細化による走査線数 n の増加、駆動フレームレート比 m の増加とともに、TFTには高い移動度が要求される。

表1は、ある条件下での要求される移動度を、表示

表1 要求される移動度と表示容量、フレーム周波数の関係

	1920 x1080 (HD)	4k x 2k	8k x 4k (Super HD)
60Hz	1.0 cm^2/Vs	2.0 cm^2/Vs	4.0 cm^2/Vs
120Hz	2.0 cm^2/Vs	4.0 cm^2/Vs	8.0 cm^2/Vs
240Hz	4.0 cm^2/Vs	8.0 cm^2/Vs	16.0 cm^2/Vs

容量、フレーム周波数の関係をシュミレーションした結果である。表から、表示容量がHD(1920×1080)、フレーム周波数 60Hz 駆動に要求される移動度は0.9 cm^2/Vs と実情の2倍の値が必要であることが分かる。

a-Si TFT-LCDは表示容量の増加やフレーム周波数の増加に伴って、TFTの書き込み時間が減少するため、トランジスタのサイズを大きくしたり、駆動電圧を上げたりすることで対策している。しかし、このような対策では、開口率の低下や消費電力の増加などデバイスとして好ましい状態ではない。そこで、書き込み特性を向上することが重要な課題になってきた。表2に実用化されているSi系TFTと一部実用化が始まった酸化物半導体TFT(Metal Oxide TFT)と開発中のナノ結晶Si(nc-Si TFT)および有機半導体TFT(OTFT)の特性と特徴の比較を示した⁴⁾。図2に示したフレキシブルディスプレイ用TFTの有力候補は有機半導体TFT(OTFT)と思われる。

表2 各種TFTの特性と特徴

Attributes	a-Si	nc-Si	LTPS	Organic	Metal Oxide
Circuit type	NMOS	NMOS/PMOS	NMOS/PMOS	PMOS	NMOS
Mobility(μ)	Low	>>a-Si	High	Low	>>a-Si
Drive capacity(I_{on})	Large W/L to reduce V_G	Small W/L at Small V_G	Small W/L at Small V_G	Large W/L to Reduce V_G	Small W/L at Small V_G
Stability(ΔV_t)	Issue	Stable	Stable	Improving	Improving
V_t uniformity	High	High	Improving	Improving	High
Mobility uniformity	High	Potential high	Improving	Improving	Improving
Compensation circuit	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Manufacturability	Mature	PECVD	ELA	Has potential	Sputtering
Cost	Low	Low	High	Promising	Low
Flexible substrate	Promising	Promising	Uncertain	Promising	Uncertain

5. 脱真空・脱フォトリソグラフィによるロール・トゥ・ロール(R2R)への期待

a-Si TFT-LCDおよびLTPS TFT-LCDは、技術者の寝食を忘れた努力の結果、CRTを凌駕する性能と高度の生産性を実現し、大きなビジネスとして開花した。デバイスの観点から見ると、TFT-LCDは、CRTに比べ軽薄短小のデバイスであり、CRTでは実現不可能な領域のマン・マシン・インターフェースとしての地位を確立

したといえる。しかし、課題がないわけではない。例えば、生産技術面では、ライン構築に当って巨大なクリーンルーム(建屋)と重厚長大な設備を必要とする産業になっている。また産業の海外流出も大変重要な問題となっている。

そこで、TFT-LCD生産工程における省資源、省エネルギーを実現しなければならない。とりわけ、TFTアレイ工程の革新的な生産技術開発が求められる。確かに、TFT-LCDは、CRTに比べて省エネルギーのデバイスといえる。しかし、生産に必要なエネルギーの観点からは、到底CRTを凌駕しているとはいえない。TFT-LCDを生産するに必要な電力、純水、薬液等はCRTの比ではない。そこで、真にCRTを凌駕するために生産技術としての課題を列記すると、

- ① 脱真空プロセス
- ② 脱フォトリソグラフィ
- ③ 低温プロセス
- ④ 枚葉プロセスからロール・トゥ・ロールプロセス
- ⑤ 環境に優しいプロセス、地球と共生する技術^{ともいき}の確立などが急務である。

TFT-LCD産業は、装置産業と労働集約産業から成り立っている。基板サイズの大型化は、装置産業としての投資生産性の向上に大いに貢献してきた。既に3m角の超大型基板を用いて量産されているが、さらなる大型化には疑問視する向きが多い。

また、TFT-LCD産業は半導体産業に比べ直材費比率が大きい産業でもある(TFT-LCDモジュールのコストに占める直材費比率は70%から80%)。TFT-LCDは、図3に示すように、偏光板、位相差板等の光学フィルム、タッチパネル、バックライトユニット(BLU)等のモジュール部材を使用している。図3には比較のためOLEDと構成部材のコスト割合を示す。そこで著者はそれらの部材をセル内に形成するいわゆる「In-Cell化」を提唱している⁵⁾。In-Cell化によって、

- ① TFT-LCDモジュールの薄型化、軽量化、堅牢性および信頼性の向上
 - ② TFT-LCDモジュールの部材・材料費を付加価値としてパネルメーカーに取り込む
 - ③ 労働集約的な生産工程の削減による産業流出の回避
 - ④ 新規デバイスの創生
- などが期待できる。

OLEDは自発光のため、バックライト、カラーフィルタ、偏光板が基本的に不要

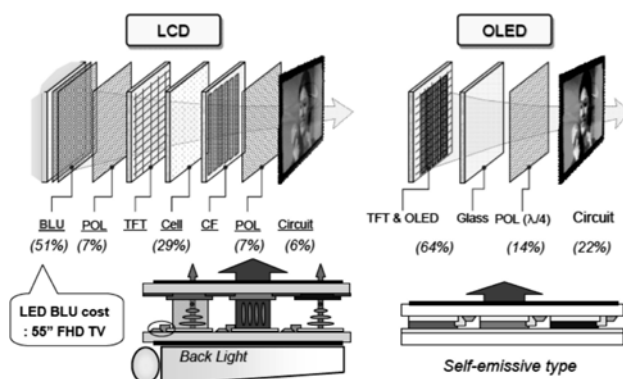


図3 LCDとOLEDのコスト構造比較

さらにデバイスの性能でも取り組むべき課題は残されている。まずデバイスの入力に対する出力、いわゆる効率の問題である。現状のTFT-LCDの構成は、表示モードによらず2枚の偏光板とカラーフィルタで構成されている。この構成を用いる限り原理上、最大でも15%以上の効率を実現することは不可能である。しかも、TFTの開口率に起因する透過率の低減があり、BLUの効率を考慮すると、図4に示すようにトータルの効率は数%に過ぎない。この点からみても光の取り出し効率は、必ず解決しなければならない問題である。

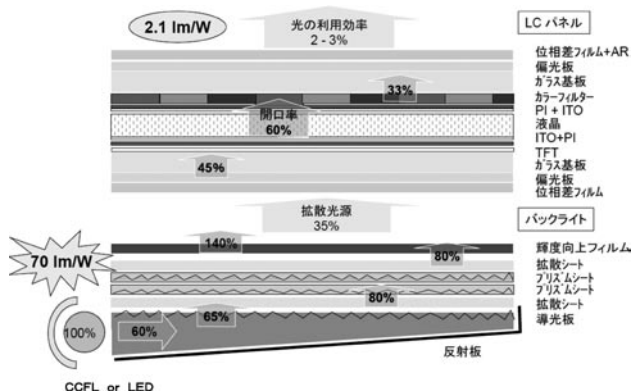


図4 TFT-LCDの光利用効率

デバイスの表示品位でも解決しなければならない問題はある。TFT-LCDはコントラスト、色再現性、応答時間等でCRTと同等もしくはCRTを凌ぐ性能が実現されている。しかし、ディスプレイとしての質感、光沢等の感覚的な領域まで表現できる状況には至っていない。

連載(6)でFPDを支える部品・材料として「タッチパネル」を取りあげた。タッチパネルは、機器とのインターフェースとして重要であり、キーボードやマウスに比べ直

観的に使えることから飛躍的に成長している。しかも、今年はソニーからIn-Cell TPを用いたTFT-LCD (Pixel Eyes “ACX433BLN”)の量産が始まり、正しくIn-Cell TP元年と呼ぶに相応しい年となった。この技術は、従来のタッチパネル技術では成し得なかった新しいマン・マシン・インターフェースを切り開くものと期待される。新技術がビジネスの糧になるように、しかもメーカーの技術者が開発の喜びを分かち合えるようにしたいものである。タッチパネルは最早FPDを支える部品ではなく、FPDと一体化したデバイスとしてなくてはならない存在となった。

図5にタッチ技術の過去・現在・未来を示す。光センサ内蔵技術でスキャン機能が可能となる。我々が日常用いている複写機やファックスでは、ラインセンサによるドキュメントの取り込みが行われている。しかし、これらの機器にはラインセンサの走査機構が必要であるため、機器のコンパクト化などには適さない。これに対し、フォトセンサアレイ内蔵のデバイスを用いることでこの機構が不要となる。瞬時に2次元のドキュメントの読み込みが可能となり、しかも同じデバイスで表示できる。すなわち入力/出力一体型デバイスが実現する。その先は、タッチしなくても入力できるジェスチャ機能やエアータッチに進展するとともに、対話型ディスプレイが主流となり、タッチデバイスとディスプレイデバイスは切っても切れない関係となる。インプット・アウトプット一体型デバイスの時代の到来である。

6. 技術者はロマンを求めてNever Give-Upの精神で

TFT-LCDの本格的な研究開発が始まって四半世紀。私は幸いにしてそのスタートからこの研究に携わり、発展の歴史とともに歩むことができた。その間、TFT-LCD技術と産業の典型的な特質を目の当たりに見、多くのことを学習した。ここでは、若い技術者の皆さんへ伝えたいことを述べる²⁾。

故東大名誉教授の多田富雄氏が朝日新聞に掲載された記事⁶⁾の中から一部紹介する。『このごろの研究者は、なんでも競争、後から参入して成果の先っぽだけ横取りすることをなんとも思っていない。そんな競争は、嫉妬と憎しみが残るだけ。文部科学省も過去の成果だけを重んじて、これから何をやりたいかということを聞こうともしない。勢い成果主義と仁義なき戦いに走ることになる。やせ細った、小粒の研究しか育たない。何より未来への夢が無い。若い研究者は、小さい競争に現を抜かすのではなく、自分のアイデアを引っさげて、世界の研究者のコミュニティーに参加する心がけが大切である。そのためにも自国の文化を知することは必須である。また、他国の文化を知ること、競争相手の科学的モチベーションを知る大事な手がかりである。いくら英語で論文を書いても、競争一辺倒のぎすぎすした論文しか生まれない』。

最近、日本におけるa-Si TFT-LCD産業は、一部の企業を除いて元気がなくなりつつある。また、技術者もア

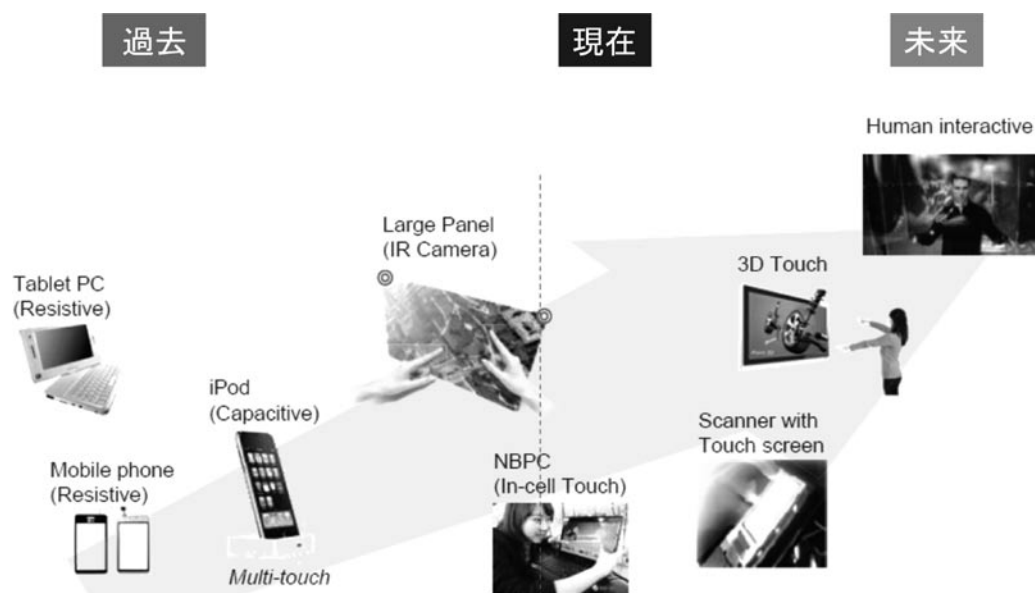


図5 タッチ技術の過去・現在・未来

メリカナイズされた人事制度の導入により、リスクを伴う研究開発には取り組み難くなりつつある。このような状況の中で、最近の関連技術者は夢と自信を失いつつある。

元立命館大学・末川博総長の言葉に、「青年は未来を信じ未来に生きる。そこに青年の使命がある」がある。私は、ここで言われている「青年」とは、肉体的に「青年」のみならず精神的にも「青年」を意味しての言葉と理解している。死ぬまで1日19時間、数学の問題を解き続けた鬼才の数学者ポール・エルデーシュは、「頭を働かせている人は若々しい」と弟子たちに話していたという。また彼は、研究を止めた、つまり脳細胞の活動を停止した人を「死んだ」といい、人が死んだ時は「去った」と表現したという。

TFT-LCDはいくつかのBreak Throughを経て、現在に至っている。しかし、克服しなければならない課題も多々ある。もちろんこれらの技術的課題を突破するのは技術者の役目である。しかし忘れてはならないことは、技術者自身のものの考え方、および仕事の進め方に常にBreak Throughが求められることである。独創的な技術で、夢と情熱を常に持ち、しかもNever Give-Upの精神で果敢に挑戦する。そのことで、真にCRTを凌駕した理想のTFT-LCD技術が確立すると私は信じている。技術者には、未来を信じ大きな夢を抱いて、日々夢を実現するために失敗を恐れず果敢に挑戦する精神と実行力が問われている。

イラク戦争やリビア内戦に見られるように、地球上には残念ながら戦争が絶えない。東京電力の原発事故は、人災と言われながらも加害者(東京電力と国)と被害者(国民)の区別なく「日本の文化」で済まそうとする風潮がある。日本人によって何の罪もない人々から命と土地および生活を奪ったことを忘れてはいけない。この被害は未来永劫続くかもしれない。我々には地球との共生(我々の生きている時代)だけではなく、共生(ともいき)(開発した技術や製品が孫末代に与える影響を考えること)が重要である。技術者以前に一社会人として、世界が戦争や核兵器および原発のない平和で幸せな時代になるよう常日頃関心を持ち、地道な活動が重要である。

ホシデンでa-Si TFT-LCDの黎明期から研究開発や事業化に携わり、ソニーではLTPS TFT-LCDの事業化

と開発に従事した。小学校卒業の文集に書いた「科学者」の夢は残念ながら実現できなかった。しかし、2008年3月末まで通算30年間もTFT-LCDの技術開発と事業化に携わった。技術者にとってこのようなことは多くの機会があることではないと思う。本当に技術者冥利に尽きる。

顧みれば、先生、上司、先輩、同僚、仲間の多くの方々と、両親と家族の支えがあって今の私がある。『福、受けつくすべからず』(法演の四戒:瀬戸内寂聴著「美しいお経」より)を肝に銘じ、今後ともTFT分野の学業界に少しでも寄与できれば幸いである。

7. おわりに

TFT-LCDはフラットパネルディスプレイとして揺るぎない地位を確立しているが、更なる特性の向上と相まって省エネルギー、省資源といった環境対応技術分野でも大きな進展を見せている。ポストフルハイビジョン用ディスプレイを目指す要素技術開発も活発で、この分野の最新情報から目が離せない状況である。ここで紹介した技術が確立し、新規フラットパネルディスプレイ(FPD)、とりわけフレキシブルディスプレイを用いた商品が人々に感動を与えてくれることを期待している。読者には新規FPDの実用化に参画され、「知」の創造に寄与されることを切望する。

長期間にわたり連載を読んで頂いた読者の方々に感謝いたします。また、この連載の企画をいただいた関東化学の関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 沼上 幹. 朝日新聞朝刊. 2011.11.8
- 2) 鶴飼育弘. 研究開発リーダー. 2009, Vol.5, No.12, 70-77.
- 3) 鶴飼育弘. マイクロ・ナノx領域の超精密技術. 日本学術振興会 将来加工技術第136委員会編, オーム社, 2011, 183-201
- 4) 鶴飼育弘. 液晶. 2011, 15(3), 201-216
- 5) Ukai, Y. Proceeding of the XIV International Workshop on the Physics of Semiconductor devices. IEEE, 2007, 29-34
- 6) 多田富雄. 朝日新聞朝刊. 2008.6.18

感染症四方山話(4): 感染性心内膜炎

Various Topics concerning Infectious Disease (4) Infective endocarditis

順天堂大学医学部 感染制御科学／細菌学／総合診療科学 准教授 菊池 賢

KEN KIKUCHI, MD, PhD.(Associate Professor)

*Department of Infection Control Science, Department of Bacteriology, Department of General Medicine,
Faculty of Medicine, Juntendo University*

はじめに

前回の感染症四方山話(3)で、私が感染症の世界に入った経緯、感染症の研究歴等を書かせて頂いた。一方、感染症の医師としてのキャリアは、卒後5年目の中央検査部(第二内科兼任)助手としてスタートとなった。勤めていた東京女子医大では感染症を網羅的に診ている診療科はなく、中央検査部に清水喜八郎教授を初めとして、感染症に関わる研究(主に抗菌化学療法の理論的構築)に携わる医師のスタッフが数名いたが、臨床への対応という点では清水教授が個人的に感染症のコンサルテーションをオンデマンドで受けているのみだった。折角、感染症を自分の仕事としてできるようになったので、できれば感染症のコンサルテーションを正式な業務として行いたい。今、思い出してみると恥ずかしい限りだが、その頃の私は、血気盛んな怖いものなしで、先ず行動ありきだった。当時は全国の大学病院でも感染症科を標榜している施設はほとんどなく、欧米の感染症科の多くのスタイルである、ベッドを持たず(自分の診療科所属の患者を持たないこと)、コンサルテーションを主な業務とするシステムは国内では皆無だった。臨床現場が感染症で困った時に相談する相手はおらず、もっぱらそれぞれの診療科が独自の判断で診断・治療を日常診療の中で決めていた。他になくても、需要があるなら(というよりも、「開拓出来るなら」という感覚だった)作ってみよう。中央検査部医局の入り口に他科依頼申し込みボックスを設置して、0から感染症コンサルテーションシステムが始まった。勿論、当時の私ごとき若造が「相手」では、相談する方も躊躇するだろう。清水

喜八郎教授に責任者になって頂いた。コンサルテーションがあれば、病棟に出向き、診察させてもらいながら、**suggestion**を行う。毎週金曜日午前中に受けたコンサルテーションの症例検討を実施し、スタッフ間で症例の共有を行う。そんな流れだった。最初の年は相談してくるのはほぼ内科に限られており、総数も確か60例弱だった。それでも徐々に様々な診療科の信頼を勝ち取る度にコンサルテーション件数は増え、数年後には年間7-800例の相談が来るようになり、実績が認められ、紆余曲折はあったが、中央検査部の内部から徐々に、中央検査部感染対策部→感染対策科→感染症科、と独立した科として認めてもらえるようになった。

この感染症コンサルテーションシステムを通じ、貴重な感染症症例に数多く出会うことができた。そこで感じた「なぜ?」に対する答え探しの旅が今も私の研究の一番のモチベーションになっている。今日までの私の感染症診療の礎を築いてくれたこれらの感染症の診療の中から、強い印象を受けた感染症をこれから、取り上げてみたいと思う。

感染性心内膜炎とは

感染性心内膜炎(infective endocarditis: IE)は心臓の心内膜—多くの場合は弁、に菌が定着した感染病変(疣贅^{ゆうぜい}と呼ばれる—図1)を有し、そこから遊離した菌による持続性の菌血症を起こす特有の感染症である。心臓が機械的に破壊されることに基づく弁膜症、心不全、不整脈などの心臓由来病態、敗血症症状と播種された菌血症が衛星病変(膿瘍など)を形成する敗血

症病態、遊離した疣贅が血管を閉塞することで起こる塞栓症状、Osler 痛斑、Roth 斑、Janeway 発疹、眼瞼結膜の出血斑、爪下出血斑 (splinter haemorrhage)、糸球体腎炎など、高濃度の微生物抗原暴露による免疫反応—主として免疫複合体による血管炎など、非常に多彩な病態を呈する。

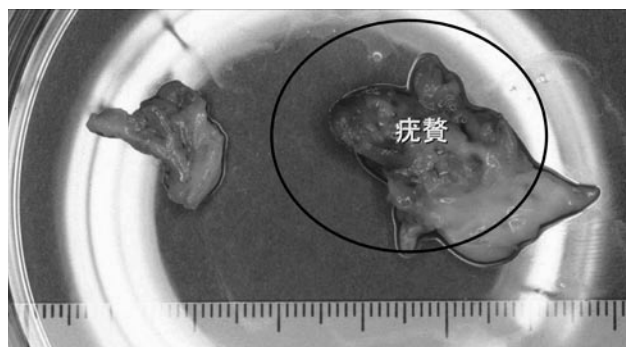


図1 大動脈弁に付着した巨大な疣贅

抗菌薬が実用化される以前は、真綿で首を絞めるように徐々に衰弱し、確実に死に至る病として、恐れられていた。ペニシリンをはじめとする抗菌薬が自由に使用できるされた現在でも、死亡率は入院中で15-20%、1年死亡率で20-30%に至る¹⁾。死に至らない場合でも、日常診療で遭遇する一般的なIEで通常4~8週間、Q熱の病原体である *Coxiella burnetii* によるIEでは少なくとも18ヶ月以上と、他の感染症に比べ、著しく長期の抗菌薬投与を強いられる²⁾。脳塞栓、脳出血など、後遺症を残す合併症も少なくない。数ある感染症の中でも、難治性という点では他の追従を寄せ付けない特有の位置を占めている。

それでは症例を顧みることにしよう。

症例 11歳の女性で、大血管転移という先天性の心奇形に加え、多脾症(複数の脾臓を持つが、通常の脾機能が著しく低下ないし欠如—機能的無脾症と呼ぶ—)することが多い)、内臓逆位を伴っていた³⁾。大血管転移は生まれつき、心室から出る動脈がそれぞれ入れ替わっており、右心室から大動脈が、左心室から肺動脈が出ている。このままではもちろん動脈血が全身に送られることがないが、心室に穴(心室中隔欠損)が開いているか、動脈管などの短絡路(シャント)を通して、静脈血と動脈血がある程度混じるため、ある程度の期間は生存することができる。もちろん、根治には手術

が必要で、心室中隔欠損がない例では新生児期に動脈転換手術(Jatene手術)を受けなければならない。この患者はⅢ型と呼ぶ心室中隔欠損と肺動脈狭窄があるタイプで、生直後に手術する必要はなかったが、チアノーゼが強く、4ヶ月時にシャント手術を受け、8歳で、根治術であるRastelli手術(人工血管—conduit:心外導管と呼ぶ—を用いて右心室と肺動脈をつなぎ、左心室と大動脈を結ぶトンネルを作成する)を施行されていた。

IEは健康な心臓に起こることは滅多にない。弁が傷ついたり、血液が淀んだりするような病態があつてはじめて、菌がくつき、IEを成立させることができるのだ。中でも先天性心疾患、特にチアノーゼを伴う(動脈と静脈血が混じることが想定される状態)ものはIEの危険因子としてよく知られている。また、人工血管や人工弁などの異物も微生物定着の良い足がかりになる。

彼女は6ヶ月前に抜菌をされており、2週間前から39℃の発熱、呼吸困難、浮腫を呈して、入院となった。血液培養も陰性で当初はIEを疑われず、各種抗菌薬を使用されたが、発熱は持続し、炎症所見も良くならない。この時点で、コンサルテーションがあり、IEの診断をやり直そうということになった。一旦、抗菌薬を中止し、抗菌薬濃度が下がった時点で血液培養を取り直したところ、グラム染色でレンサ状を示すグラム陽性球菌が4セットの血液培養から立て続けに検出された。心臓超音波検査で心外導管内部の狭窄、重度の三尖弁閉鎖不全が確認され、IEであることがこの時点で診断された。しかし、このレンサ球菌はよくある *viridans group streptococci* には見られない、おかしい特徴を有していた。血液培養のボトルが陽性になり、確かに顕微鏡で菌が確認できているのに、血液寒天に継代培養すると、生えてこないのである。この菌を接種した血液寒天上にブドウ球菌を画線培養(培地上に白金耳で菌を線状に接種すること)すると、ブドウ球菌コロニーの周囲にコロニーが生えてきた(図2)。これは衛星現象と呼ばれ、画線した株(この場合はブドウ球菌)が何らかの試験菌株増殖に必要な栄養素を供給することで、試験株が発育可能になるものである。レンサ球菌ではこのような衛星現象を示すものに、栄養要求性レンサ球菌: *nutritionally variant streptococci* (NVS)と呼ばれる菌があった。発育に要求される栄養素はビタミンB₆ないし L-cysteine であり、本菌もビタミンB₆を添加した培地に

は普通に増殖することが確認された。NVSには当時、*Streptococcus defectivus*, *Streptococcus adjacens*という2種類の菌が知られていたが、これらはレンサ球菌属とは異なった遺伝背景を持つ菌であることがわかり、それぞれ、*Abiotrophia defectiva*, *Granulicatella adiacens*と別々の属に再分類された。本症例の菌株はDNA-DNA hybridizationの結果、*A. defectiva*であることが確認できた。NVSによるIEの治療は基本的には通常のviridans group streptococciと同じであり、penicillinとaminoglycosideの併用を行うが、治療抵抗性であること、再発が多いことが知られている。本症例でも当初、レンサ球菌ということで(感受性はこの時点では菌の継

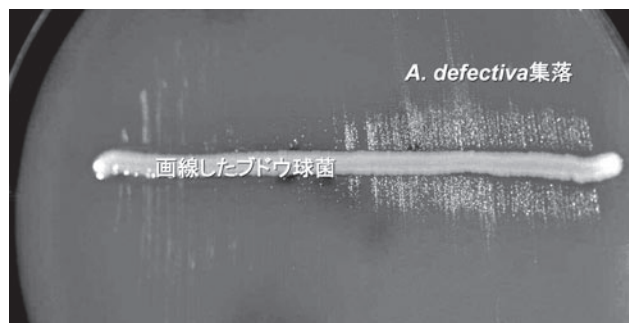


図2 衛星現象

代培養ができず、測定できなかった)、penicillin Gが投与されたが、血液培養からは菌が検出され続いた。gentamicinを併用しても菌の陽性は続いた。この症例のように異物(人工血管)が入っており、しかもそこが感染巣になっている場合には、感染巣である人工物を外科的に取り除かない限り、抗菌薬単独での治癒はほとんど不可能である。主治医に何度も再手術を勧めたが、中々実施されず、ようやく、心外導管を交換し、三尖弁形成術を施行されて、治癒にこぎ着けることができた。後から調べた感受性試験ではpenicillinのMICは4mg/Lと耐性を示しており、penicillinでは治療がうまくいかなかった理由も判明した。入院期間はほぼ1年の326日に、抗菌薬投与期間は276日に及んだ。図3に症例の経過を示した。

この症例は以後IEを診るにあたって、重要な教訓をいくつも私の胸の中に刻み込んだ。

第一の教訓は、異物に伴う感染巣は物理的に除去することが必須であり、抗菌薬のみで治療を完遂できることは極めて困難だということである。こんなこと感染症医には常識と思われるかもしれない。しかし、教科書通りの症例ばかりではない。臨床現場には様々な問題を

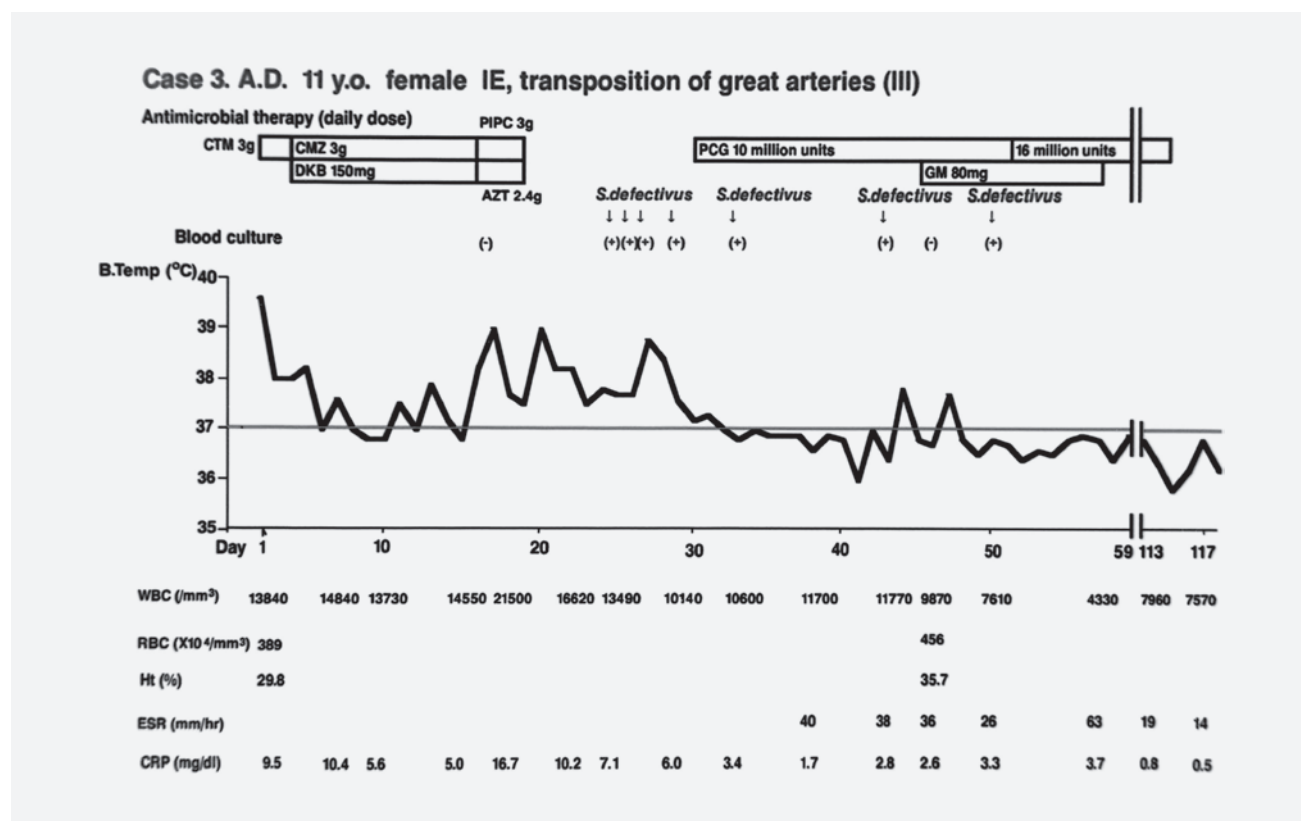


図3 症例 臨床経過

抱えた症例が溢れている。本症例のように複雑性心奇形を抱えていれば、再手術は大掛かりになる。手術に耐えるかどうかの全身状態の判断も頭を悩ませることだろう。「できれば手術を回避して内科的に治療できないか」、もし私が本症例の主治医であったとしても、きっとそう思ったことだろう。「感染症コンサルテーションというものは、患者の意思を尊重するのみならず、主治医の判断も許容しながら、お互いの信頼関係を築き、その上で、落としどころに如何に持ち込めるか、なのだ」と痛感した。これ以後も、IEを繰り返し、その度に人工弁を入れ替えて、遂に再手術しようにも交換する新しい人工弁を縫い合わせる心臓の縫い代が確保できなくなった症例にも複数、遭遇した。現在も年単位で抗菌薬治療を続けている人工弁心内膜炎: prosthetic valve endocarditis: PVE患者を診ている。手術の望みは絶たれ、何度も抗菌薬中止を試み、その度に再発が起きた。万策尽きて、他に方法がないのである。幸い、抗菌薬の至適濃度が維持されている限り、菌は人工弁に付着してはいるが、悪化する様子はない。このような患者フォローの方法等、どこの教科書にも書いてはいまい。そして、これが感染症臨床の現実なのである。

第二の教訓は、IEのマネージメントで最も重要なことは、確実な診断、即ち起因菌の正確な同定にある、ということである。IEの治療はかように長期に渡る上、本症例のように手術が必要なケースも少なくない。起因菌の確定診断がなければ、推定診断で治療を選択せざるを得ない。場合によっては無効なあるいは無駄な抗菌薬が月単位で使用されることになるばかりか、治療失敗は即、患者予後に影響を及ぼす。

黄色ブドウ球菌のような比較的病原性の強い菌によるIE(急性の経過を取る)と違い、viridans group streptococciなどによる多くのIEは比較的亜急性の経過を辿る。症状も病初期は発熱のみということが少なくない。外来を受診したこうしたIEの患者は、大概、「かぜ」と診断されて、数日間、抗菌薬を処方される。抗菌薬を飲んでいる間は解熱しているのだが、飲みきると、再び、発熱する。また受診して、再度、同じまたは別の抗菌薬が処方され、飲んでいる間はやはり解熱する。止めると、再度、発熱がぶり返す。こうしたことを繰り返しているうちに、倦怠感、息切れ、浮腫などの心不全徴候が現れ、別の入院施設の有るような病院にかかって、初

めてIEと診断される。しかし、この時点では既に抗菌薬が断続的に投与されており、血液培養を行っても陽性にならない。起因菌は不明のまま、viridans group streptococciによるIEだろうということで、penicillinが投与される。しかし、本症例のように予想とは異なる菌種であったり、耐性菌でpenicillinが効かない場合などがあるのだ。実際、海外の報告に比べ、こうした培養陰性心内膜炎は我が国では多いことが知られている。如何に起因菌を正確に同定するか、培養陰性であれば、何か他の手段で微生物学的診断を下すことができないか。IEの起因菌診断の新たな方法を模索することになった。

解決策の一つは、手術になった場合に適応される。手術が施行されれば、手術で切除された感染病巣検体を得ることができる。緊急手術であれば、直接、検体の培養で微生物が証明されることもある。しかし、IEの手術の多くは抗菌薬治療が完了した後に、待機的に行われる。血液培養も陽性にならず、抗菌薬治療が終了した段階では、まず手術検体からの培養検査が陽性になることはない。だが、培養可能な微生物はいなくても、組織内に起因菌の死骸(死菌)やDNAの残骸は結構残っているのだ。細菌全てに含まれ、ヒトには存在せず、複数のコピーがある(感度が上がる)遺伝子があれば、それをPCRで増幅すれば細菌感染であることが証明できる(図4)。また、こうした細菌共通遺伝子のDNA塩基配列を解読することで、菌種の同定を行うことも可能だ(図5)⁴⁾。具体的には16S ribosomal RNA遺伝子が汎用される。真菌の場合には18S rRNA, ITS1, ITS2, 26S rRNA遺伝子などが用いられる。例えば、penicillinで治療されて手術になったIEの起因菌が、penicillinの無効で再発が多く治療が著しく長い *Coxiella burnetii* であることが判明すれば、必要な追加の確定治療実施が可能になる。こうした手法は我が国に多い培養陰性心内膜炎の診断に貢献しているが、問題もある。手術ないし生検などで病巣部の検体を得られなければ、検査が行えないのは当然であるが、*Propionibacterium*, *Corynebacterium*, コアグラージェ陰性ブドウ球菌のように、皮膚などの常在菌DNAが検出された場合は非常に悩まされる。実際、これらの皮膚常在菌によるIEは決して珍しいものではない。特にPVEで一番多い起因菌はコアグラージェ陰性ブドウ球菌

なのだ。私のところには全国から年間50例程のIEの起
 因菌診断依頼が来る。IEの起原因菌として臨床像をよく
 説明しうる結果が得られれば良いのだが、かような皮膚
 常在菌が検出され時は本当に悩む。単なる手術時の
 汚染と考えて良いのか、真の起原因菌なのか、判断する
 拠り所がないため、報告書には「臨床的に判断して下さ
 い」と書かざるを得ない。いつもジレンマに陥る。対処方
 法として、組織からDNAを抽出するのではなく、in situ
 hybridizationなどの手法を用いて、どこに微生物由来
 DNAが局在しているのか確かめることが求められるが、

感度や手間を考えるとそれほど簡単ではない。IEの遺
 伝子診断にはまだまだ解決しなければならない問題を
 抱えているのである。

第三の教訓は、「長い臨床経過を経た菌、治療が行
 われたにもかかわらず病巣に居座り続けたような菌に
 は、同じ菌種でも他の株にみられないような変化をきた
 すことがある」ということである。本菌はビタミンB₆を加え
 た培地で増殖させると、培地表面に強固に付着して、
 寒天内に潜り込むような特殊な発育を示した。本菌
 (TW691株)は液体培地で増殖させると、図6に示すよ

うに液体培地を入れたプラスチッ
 ク試験管壁に強固に固着して発
 育する、特異な増殖を示した。コ
 ントロールに置いた *A. defectiva*
 ATCC 49176^T が均一に混濁して
 いるのと、明らかに異なるのがわ
 かる。近年、心臓ペースメーカー
 だけでなく、埋め込み型除細動
 器 (implantable cardioverter-
 defibrillator: ICD) など、心臓内
 に電気リードを挿入する器械が広
 く使用されるようになり、これらの器
 機の装着された患者に発生する
 IE (cardiovascular device-
 related endocarditis) が増えて
 いる。こうしたIEでも、異物感染
 巣を取り除くことは必須であるが、
 心筋内に埋め込んだリードを取り
 出すことが難しかったため、これま
 では抗菌薬のみで治療をする
 ケースもあった。しかし、心筋リ
 ード抜去を行わないと、治癒が望め
 ないことがはっきりし、レーザーで
 心筋リードを取り外す手技が開発
 され、心筋リード抜去も以前程は
 敷居が高くなってきた。こうした
 IEから分離される菌にも、同じよ
 うに、ひねくれた株、くせ者が多いの
 である。ブドウ球菌なのに生育に
 炭酸ガスを要求してみたり、呼吸
 回路が障害されているため、コロ

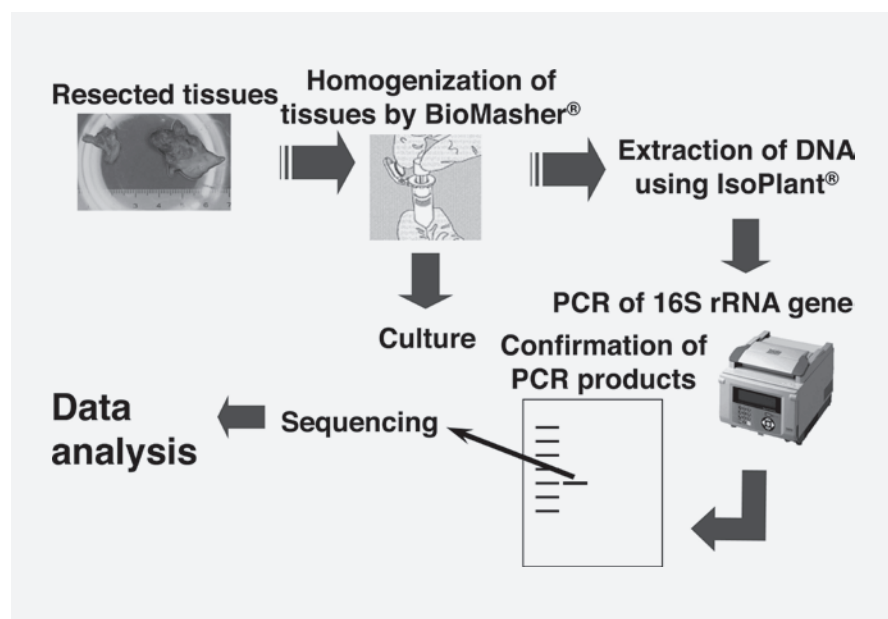


図4 IE手術検体からの起原因菌遺伝子診断の流れ

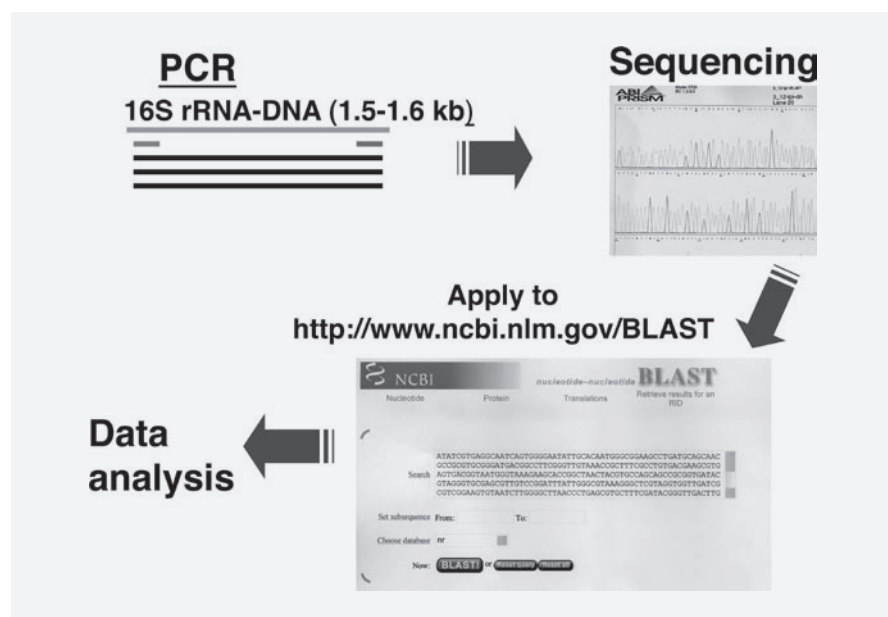


図5 得られたPCR産物の解析

ニーの大きさが通常の1/10以下にしかない、いわゆるsmall colony variantであったり(このため、しばしば同定が間違えたり、正しく感受性測定が行えなかったりする)する。普段、検査室でよく見かける菌とはとても同一種とは思えない、一癖二癖ある株が少なくないのだ。実際、こうしたくせ者によるIEは難治性であるばかりか再発も多い。くせ者は人工弁、ペースメーカー本体や心筋リードを取り除いても、どこからか湧き出てまた同じ感染を起こす。多くは抗菌薬の耐性とは関係しないため、抗菌薬の種類を代えても治療に結びつかない。IEという生体内のニッチな環境に適応した変化なのだろう。どのようなメカニズムによるのか、どのようにして、そうした変化を獲得するのか等、興味が尽きない。そこを明らかにすれば、PVEやcardiovascular device-related endocarditisの予防・治療に対する新たな戦略が描けるだろう。



図6 試験管内での*A. defectiva*の増殖

本症例のNVSやviridans group streptococci、グラム陰性桿菌のHACEK groupなど、多くのIEの起病因菌は口腔内の常在菌として知られている。例えば、IE由来のレンサ球菌では莢膜抗原や表層の多糖抗原が消失して、口腔由来株とは異なった抗原性を呈することが知られている⁵⁾。おそらくはIEという全身感染を持続成立させるためには、宿主の免疫反応から逃れる進化が必要になるのであろう。人獣共通感染症を起こすレンサ球菌、*Streptococcus suis*は豚にIEなどの感染症を引

き起こすが、やはり、IE由来株は他の由来株と比較した場合、血清抗原型を消失している株が多いことが明らかにされている⁶⁾。IEに限らないであろうが、慢性感染を成立させるためには、菌は病巣環境に適合した進化を強いられるということなのかも知れない。

おわりに

感染症コンサルテーションを始めてから、それまでほとんど診る機会のなかったIEに関わるようになって、その時々感じた「なぜ?」を追い求めているうちに、今では循環器専門病院で感染症を診るようになった。いつしか、IEは私の中では最も診る機会の多い感染症の一つになったが(一般的には決してそのようなことはない)、それでも毎回、新たなIE患者を診るたびに、新しい発見がある。IEは今も、私の感染症魂に喝を入れてくれる貴重な感染症の「師」なのである。

参考文献

- 1) McDonald, J.R. Infect. Dis. North Clin. Am. 2009, 23 (3), 643-664.
- 2) 菊池 賢. 今日の心臓手術の適応と至適時期. 吉川純一監修, 文光堂, 2011, 171-173.
- 3) 菊池 賢, 戸塚恭一, 清水喜八郎, 江成唯子, 柴田雄介, 長谷川裕美. 感染症学雑誌. 1994, 68, 830-836.
- 4) 菊池 賢, 感染症学雑誌. 2011, 85, supplement 3, 4-8.
- 5) Fujiwara, T. Nakano, K. Kawaguchi, M. Ooshima, T. Sobue, S. Kawabata, S. Nakagawa, I. Hamada, S. Eur. J. Oral. Sci. 2001, 109 (5), 330-334..
- 6) Lakkitjaroen, N. Takamatsu, D. Okura, M. Sato, M. Osaki, M. Sekizaki, T. J. Med. Microbiol. 2011, 60 (11), 1669-1676.

遷移金属触媒とヒドロシランを用いる合成化学の新展開(II): ヒドロシランの機能は、還元剤だけではない。

*New synthetic chemistry using hydrosilanes and transition metal catalysts (II):
Hydrosilanes do not Always behave as a Reducing Reagent*

九州大学先端物質化学研究所 特任助教 西形 孝司
Takashi Nishikata (Research Assistant Professor)

教授 永島 英夫
Hideo Nagashima (Professor)

Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University

1. はじめに

還元反応は、アルコール、アミン、さらには炭素-炭素結合を効率的に得るための重要な有機合成的手段のひとつであり、水素、金属水素化物、そして時にはアルコールやHantzschエステルなどの有機物水素化剤が還元剤として用いられている¹⁾。高度な還元反応の研究開発が進む一方で、近年の深刻な資源問題や環境問題を克服するために、水素よりも安全で扱いやすく、また水素化アルミニウムやホウ素をはじめとする金属水素化物を構成する元素よりも地球上に豊富に存在するケイ素を基本骨格とするヒドロシランが還元剤として注目を集めている。有機合成に用いられる有機ヒドロシランは一般に空气中で長期保存でき、蒸留やカラムクロマトグラフィーで精製可能なほど安定である。このため、ヒドロシランのSi-H結合を活性化するためには触媒が必要である。

著者らが開発した3核ルテニウムクラスターによりヒドロシランを活性化すると、極めて活性な金属種が発生する(図1)²⁾。この触媒を用いるとヒドロシリル化のみならずアミドなどのカルボニル化合物還元などを温和な条件で実現可能であり、その還元触媒としての特徴は、本誌2009年No.4にまとめられている³⁾。しかしながら、このルテニウム触媒の特徴は、ヒドロシラン類が反応によっては単純な

還元剤ではなく、脱水剤、脱保護剤、あるいは、重合やアルキル化の補助剤として働く機能を持つことである。本稿では、筆者らの最近の成果であるヒドロシランの新しい利用法について紹介する。

2. アミドの脱水反応によるニトリル合成⁴⁾

通常、ヒドロシランはルテニウム触媒存在下でアミド、ケトンやアルデヒドにおけるカルボニル基の優れた還元剤として働き、対応する還元体を与えるが、場合により脱水剤として働く場合がある⁵⁾。ルテニウム触媒とヒドロシランの組み合わせは、3級アミドの還元に優れた成果を与える。2級アミドは3級アミドよりも反応が遅いが、2つのSi-H基が近接して存在するヒドロシランであるMe₂Si(CH₂)₂SiHMe₂(BDMSE)やMe₂SiOSiHMe₂(TMDS)を用いると、反応がすみやかに進行する。ところが、1級アミドを基質とした場合は、ヒドロシランとの反応で予想される1級アミンが生成物として得られずに、代わりにニトリルが生成する(図2)。

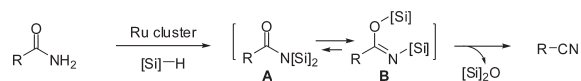


図2 アミドからのニトリル合成

このような還元系でヒドロシランが脱水剤として機能することは珍しい。1級アミドからニトリルを生成するには、まず、1級アミドの脱水素シリル化が起こり、図2の中間体A及びBを経由する必要があると考えられる。そこで、²⁹Si及び¹H NMRによる追跡実験を重ベンゼン中ルテニウム触媒存在下、*p*-tolylCONH₂とBDMSEとの反応で

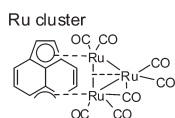
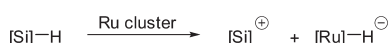


図1 ルテニウムクラスターによるヒドロシランの活性化

行ったところ、反応の途中で中間体A及びBに相当するピーク($\delta=10.1, 14.0, 15.7, 23.9\text{ppm}$)が観測され、反応が進むにつれ生成物と $[\text{Si}]_2\text{O}$ に相当するピーク($\delta=8.59\text{ppm}$)も観測された。中間体AからBを経て生成物を生じるルートは熱的にも進行するが、ルテニウム触媒非存在下では27%であった生成物の収率が、ルテニウム触媒存在下では55%になり、ルテニウム触媒がヒドロシランの活性化のみならずニトリル生成段階をも加速していることが明らかになった。1級アミドからニトリルを合成する反応は、Swern酸化条件や $\text{ROP}(\text{O})\text{Cl}_2$ による反応でも進行することが報告されているが⁶⁾、遷移金属触媒による反応は毒性の無いヒドロシランを用いることができる点で優れており、様々なニトリルを温和な条件で合成することが可能となった。

3. tert-ブチル基の脱保護⁷⁾

ヒドロシランの脱水反応が円滑に進行する背景には、ケイ素と酸素の強い親和力がある。ケイ素と酸素の親和性を応用した反応として、古くから、 Me_3SiOTf や Me_3SiI がアルコールのアルキル保護基を除去する試薬として働くことが知られている⁸⁾。とくにtert-ブチル基は、保護基として多くの需要があり古くから効率的な保護・脱保護法の研究が行われている。我々は、ルテニウム触媒とBDMSEや PhMe_2SiH などのヒドロシランをtert-ブチルエーテルやエステルに適用すると、生じたルテニウムヒドリド(図1)とtert-ブチル基の水素が反応し水素の脱離を伴いながら脱保護することに成功した(図3)。本反応では、反応後にイソブテンが生成することをNMRにより確認している。これまでのBocやtert-ブチル基の脱保護剤である強酸性の Me_3SiOTf や Me_3SiI と比較して、本系で用いるヒドロシランも触媒も中性あり、共存できる官能基の制限を大幅に減らすことが可能である。

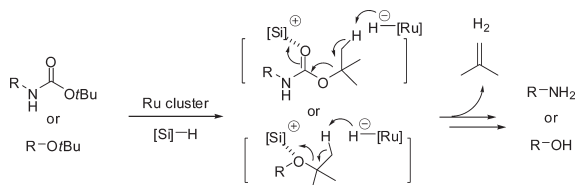


図3 tert-ブチル基の脱保護

一方、本反応の脱保護可能な置換基の適用性は、 Me_3SiOTf や Me_3SiI より狭いため、メチル基とtert-ブチ

ル基の選択的な脱保護を容易に実行可能である。例えば、図4に示したそれぞれのフェノールをメチル基とtert-ブチル基で保護したビスフェノールAは、 Me_3SiI との反応でメチル基を脱保護することが可能である。一方、tert-ブチル基を脱保護する一般的な条件(強酸や強いルイス酸の使用)ではメチル基も同時に外れてしまうが、ルテニウム触媒存在下ヒドロシランも用いて反応を行うと選択的にtert-ブチル基の脱保護反応が進行する。

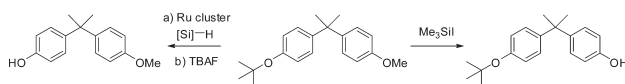


図4 選択的脱保護

4. 還元的アルキル化による炭素-炭素あるいは炭素-窒素結合形成^{9,10)}

最近我々はヒドロシランの上記のような重合や脱離反応の利用の他に、炭素-炭素あるいは炭素-窒素結合形成反応にも本系が有効であることを見出している。図5に示したように、ルテニウム触媒存在下ヒドロシランとエステルの反応に炭素あるいは窒素求核剤を加えると、還元的アルキル化が進行する。

アルデヒドあるいはケトンにアミン存在下でヒドリド還元する還元的アミノ化反応は、アミンのハロゲン化アルキルによるアルキル化で生じる4級アンモニウム化を避け¹¹⁾、選択的に1あるいは2級アミンを合成する方法として知られている。ケトン等よりも酸化度の高いカルボン酸誘導体を直接のアルキル源とする還元的アミノ化反応は、1級アミンの合成法として期待されるが、エステルの還元を行うことができるヒドリド反応剤が限られているため報告例がない。我々は、ルテニウムクラスター触媒とTMSD((HMe_2Si)₂O)や EtMe_2SiH などのヒドロシランの存在下にエステルとトシルアミドを反応させるとトシルアミドの窒素に1級アルキル基が導入できることを見出した。さらに興味深いことに、3級アルキルエステルを用いると、トシルアミドの3級アルキル化反応が進行する(図5)。この1級アルキル化反応はエステルが還元されて1級アルキル基が生じるが、3級アルキル化反応は還元過程を含まない。一般に3級アルキル基は、通常の条件では導入が難しく、基質の制限も多いが本反応では様々な構造のアルキル基を導入できる点で優れている。これを応用することで、光学活性グルタミン酸エステルの化学選択的環化や

アザスピロ環などの複雑な環状アルキルアミンの合成にも適用可能である(図6)。

一方、同様の原理で電子の極めて豊富な1,3,5-トリメトキシベンゼンをトシルアミドの代わりに加えると、対応する還元的アルキル化が芳香環上で進行する(図5)。こちらは、電子豊富な基質に限られるものの、芳香環への1級アルキル化を容易に行うことが可能であることからFriedel-Crafts反応に代わる芳香族アルキル化化学に重要な知見を与える結果である。

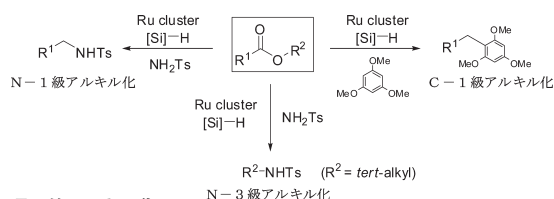


図5 還元的アルキル化

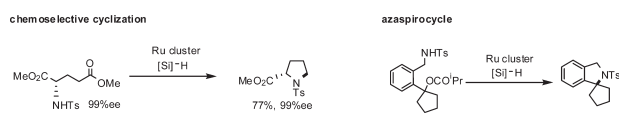


図6 環化反応

本反応は、ルテニウムヒドライドとシリルカチオンをエステルと求核剤との反応に利用することで達成される。1級アルキル化と3級アルキル化を分けるルートは、エステルのシリルカチオンによる活性化の第一段階にある。図7に示すように、シリル基で活性化されたエステルは、 R^2 が3級アルキル基の場合、 R^2 カチオンが生成するpath Aが優先的に進行するのに対し、 R^2 が3級アルキル基以外の場合は、ルテニウムヒドライドが反応する(path B)。path Bはエステルの還元を伴いながら進行し、アセタール中間体を経て、1級アルキル化反応が始まる。1級アルキル化は求核剤とルテニウムヒドライドのエステルへの反応が交互に進行することで達成されるため、適用可能な求核剤がトシルアミドや電子豊富な芳香環のみであるという制限がある。今後は、ヒドロシランや触媒系などの工夫によりこの制限を克服することが課題である。

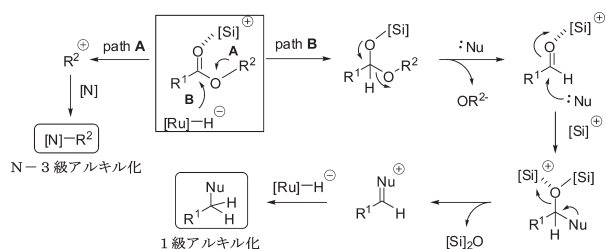


図7 推定反応機構

5. 重合か転位か? 12)

以上述べてきたように、脱水反応、脱保護反応、アルキル化反応に共通して、反応の駆動力はケイ素の強い酸素親和性である。一般に遷移金属触媒を用いるヒドロシランの反応は、Si-H結合が金属に酸化的付加することにより開始されると考えられている。一方、本ルテニウム触媒を用いる反応の結果から類推される活性種は、むしろシリルカチオンとしての性質を示している。中性のヒドロシランと中性のルテニウム触媒から酸性のシリルカチオンが生じるというのは奇妙であるが、実際に、ルテニウム触媒で活性化されたヒドロシランは典型的なカチオン重合反応であるTHFの開環重合を起こす²⁾。この反応では、生じたシリルカチオンがTHFのカチオン重合の開始剤としての役割を果たし、末端にケイ素を持つポリマーが得られる。同様の条件で、環状のジシロキサンやオキセタンの重合も可能である(図8)^{13,14)}。興味深い応用例として、工業的に生産されている置換オキセタンの重合は、共重合や得られたポリマーの化学変換を組み合わせることにより多様な官能基を含むポリマーの合成に展開可能である。

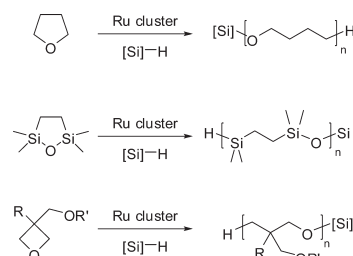


図8 ヒドロシランを利用するRu触媒重合反応

ビニルエーテルも典型的なカチオン重合を起こすモノマーであり、ルテニウム触媒とヒドロシランの組み合わせにより付加重合が進行する。興味深いことに、異なる反応が電子供与性の置換基をもつビニルエーテルで進行する(図9)。ルテニウム触媒とヒドロシランの存在下で、通常のビニルエーテルモノマー、例えば、tert-ブチル基や環状アルキル基をもつビニルエーテルでは重合反応が進行し、分子量が最高で17,000、分子量分布1.5前後のポリマーを得ることが可能である。一方、カチオン安定化能力の高い R^2 基、例えば、4-メトキシフェニルメチル基、2-フリルメチル基やジフェニルメチル基を持つビニルエーテルを用いて反応を行うと、 R^2 の1,3-転位反応

を引き起こす。選択的な1,3-転位は、 α 位に置換基のあるビニルエーテルで一般的に進行し¹⁵⁾、ケトンの新しい合成法を提供する。ケトンの合成にはヒドロシランは触媒量でよいが、ここでヒドロシランを1等量以上加えると、転位反応だけでなくカルボニル基の還元反応が進行しシリルエーテルが生成する。 α 置換ビニルエーテルの1,3-転位反応は典型的なレイス酸触媒の反応であるが、ケトンとシリルエーテルが簡単に作り分けられるのは本系の特徴であり、有機合成反応として価値がある。

反応機構は、ビニルエーテルがシリルカチオンにより活性化されると考えると理解しやすく、通常であれば中間体Bを経由して付加重合反応が進行するが、中間体Aを経由すると、電子供与性の R^2 基では対応する R^2 カチオンが生じることにより転位が進行し対応するアルデヒドまたはケトンが生成する。ビニルエーテルの反応が転位反応になるのか、それとも重合反応になるのかはビニルエーテルの R^2 置換基のカチオン安定化能力に依存する。

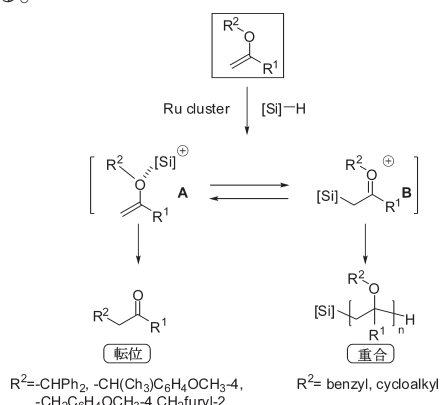


図9 転位反応と重合反応の推定反応経路

6. おわりに

ヒドロシラン類はその構成元素であるケイ素が資源として豊富に地球上に存在し、安価かつ安全で扱いやすいことから工業的にも容易に扱える物質群である。本稿で説明した通り、ヒドロシラン類の機能は、ルテニウム触媒と組み合わせることで単なる還元反応に用いることができるだけにとどまらず、重合反応、転位、脱水、脱保護、炭素-炭素及び炭素-窒素結合形成にも適用可能であることが分かってきた。これらの反応は従来のヒドロシラン化学から考えると予想外の成果であり、将来の有機合成化学に一石を投じるものである。今後は、触媒と

してルテニウムよりも安価で資源豊富な鉄を用いたヒドロシランの化学を展開することにより、持続的な社会を実現するより高次な有機合成反応を開発できると期待している。

参考文献

- Andersson, P. G.; Munslow, I. J. Eds. *Modern Reduction Methods*. Weinheim, Wiley-VCH, 2008, 522p.
- Nagashima, H.; Suzuki, A.; Iura, T.; Ryu, K.; Matsubara, K. *Organometallics* 2000, 19(18), 3579-3590.
- 永島英夫, 本山幸弘, 砂田祐輔. *The Chemical Times*. 2009, 214, 2-5
- Hanada, S.; Motoyama, Y.; Nagashima, H. *Eur. J. Org. Chem.* 2008, (24), 4097-4100
- Tozawa, T.; Yamabe, Y.; Mukaiyama, T. *Chem. Lett.*, 2005, 34(12), 1586-1587
- a) Kuo, C.; Zhu, J.; Wu, J.; Chu, C.; Yao, C.; Shia, K. *Chem. Commun.* 2007, (3), 301-303.
b) Nakajima, N.; Saito, M.; Ubukata, M. *Tetrahedron*, 2002, 58(18), 3561-3577
- Hanada, S.; Yuasa, A.; Kuroiwa, H.; Motoyama, Y.; Nagashima, H. *Eur. J. Org. Chem.* 2010, (6), 1021-1025.
- Wuts, P. G.; Greene T. W. *Greene's Protective Groups in Organic Synthesis*. 4th ed., New York, Wiley-Interscience, 2007, 1110p.
- a) Nishikata, T.; Nagashima, H. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51(22), 5363-5366.
b) Hanada, S.; Ishida, T.; Motoyama, Y.; Nagashima, H. *J. Org. Chem.* 2007, 72(20), 7551-7559.
- Nagashima, H.; Kubo, Y.; Kawamura, M.; Nishikata, T.; Motoyama, Y.; *Tetrahedron*, 2011, 67(40), 7667-7672.
- Kan, T.; Fukuyama, T. *Chem. Commun.* 2004, (4), 353-359.
- a) Harada, N.; Nishikata, T.; Nagashima, H. *Tetrahedron*, 2012, 68(15), 3243-3252.
b) Nagashima, H.; Itonaga, C.; Yasuhara, J.; Motoyama, Y.; Matsubara, K. *Organometallics*, 2004, 23(24), 5779-5786.
- Matsubara, K.; Terasawa, J.; Nagashima, H. *J. Organomet. Chem.*, 2002, 660(2), 145-152.
- Harada, N.; Yasuhara, J.; Motoyama, Y.; Fujimura, O.; Tsuji, T.; Takahashi, T.; Takahashi, Y.; Nagashima, H. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2011, 84(1), 26-39.
- a) Palani, N.; Balasubramanian, K. K. *Tetrahedron Lett.* 1995, 36(52), 9527-9530.
b) Petasis, N. A.; Lu, S.-P. *J. Am. Chem. Soc.* 1995, 117(23), 6394-6395.
c) Gansäuer, A.; Fielenback, D.; Stock, C. *Adv. Synth. Catal.*, 2002, 344(8), 845-848.

集光型太陽熱発電(CSP)方式とその現状

Trend of Concentrating Solar Power

岡本硝子株式会社 顧問 工学博士 西村 啓道

Hiromichi Nishimura Ph.D.

Okamoto Glass Co. Ltd., Adviser

1. はじめに

石油エネルギーの枯渇は時間の問題であり、また昨年東日本大震災に起因する原子力発電所の重大事故は原子力発電の安全性に重大な疑念をもたらし、日本に止まらず世界の新エネルギー政策にも大きな影を投げかけた。長期にわたるエネルギー対策の中で再生可能エネルギー利用の重要性を再認識させるに至っている。

前報¹⁾でも述べた通り、太陽光は1平方メートル当たり1KWというエネルギー密度であり、決して高密度とはいえない。しかし地球に降り注ぐ太陽光エネルギーの僅か1時間で人類が年間に使用するエネルギー量に匹敵するということは、太陽エネルギーおよびその派生エネルギーを上手に利用することで、化石エネルギーに替るほぼ永遠の代替エネルギーを手にすることになると期待できる。

太陽熱発電の定義は太陽の光をレンズや反射板を使って太陽炉に集めることで、それを熱源として利用する発電方法のことをいう。太陽光集光発電は集めた光エネルギーを太陽電池により電気エネルギーとして取り出すものであるが、一般的に太陽電池は温度上昇によって発電効率の低下を引き起こすことが知られており、集

光度の制御あるいは発電時の除熱・ヒートシンクが必要となる。

熱発電に於いては太陽光を集光し、その光を吸熱材料に照射し発熱を促し熱媒体を加熱する。この熱媒体により水蒸気を発生させ、それによりタービンを回転させて発電をするという原理である。熱発電の技術そのものは従来からあるものであり、効率を左右するのは太陽光の日射量(直達光照射量)の多さである。また発電所の発電システム、その熱利用効率が優劣を決定する。

地球上で日射量が多いのは赤道を挟んだ地域であり日照を確保できる米国、豪州、中央アジアの砂漠地帯、降雨の少ない地中海沿岸等が発電には適している。これらの地帯をサンベルト地帯と呼んでおり図1に示す。

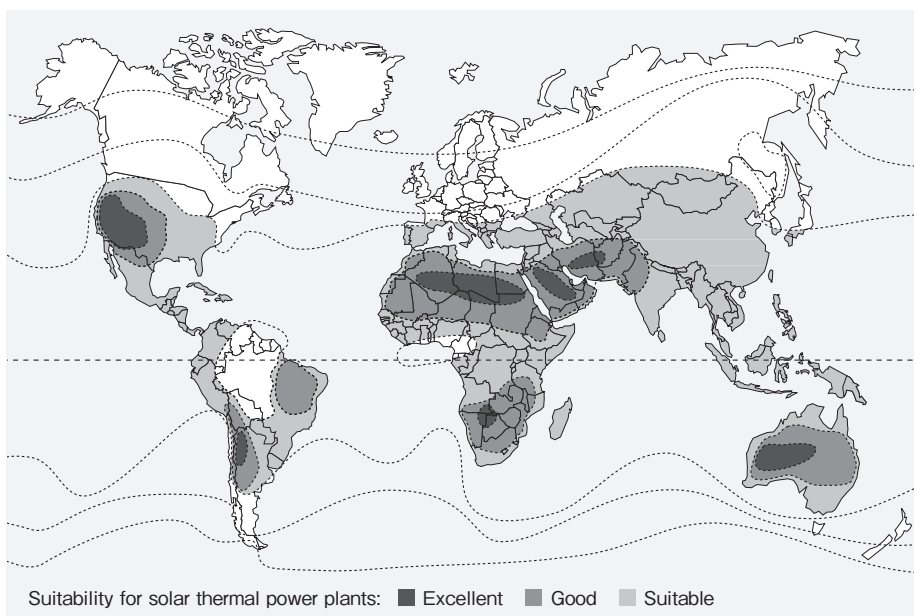


図1 サンベルト地帯の地図

出典: Solar Millenium

太陽が遮られることの少ないサンベルト地帯にある米国南部、豪州、中国西部砂漠地帯、地中海沿岸・サハラ砂漠地帯等に於いては太陽熱発電が急速に立ち上がり、全電力消費量に占める比率の上昇が予測されている。

日本での太陽光発電と言えば屋根やビルの屋上に設置するものが主であり、メガソーラー発電と言った大規模発電はやっと軌道に乗り出したところである。しかし太陽熱発電は全くと言っていい程話題にならなかった。というのは1970年代に入って海外で進み始めた太陽光発電を見て政府は1974年第一次オイルショック後に国家プロジェクト“サンシャイン計画”を発足させ、その中で初めて熱発電を取り上げることになった²⁾。1974年香川県仁尾町(現三豊市)において1MWのパイロットプラントが建設され実証テストが実施された。直達日照時間の短い日本に於いては良好な結果は得られず、それ以降二度と検討が行われることはなかった。しかしながら近年、日本には発電プラントの技術が蓄積されており、主として国外向けの事業展開を睨んで多くの企業が進出の機会を狙って参入が図られるに至っている³⁾。

2. 集光型太陽熱発電方式と特徴

2.1 主な熱発電方式

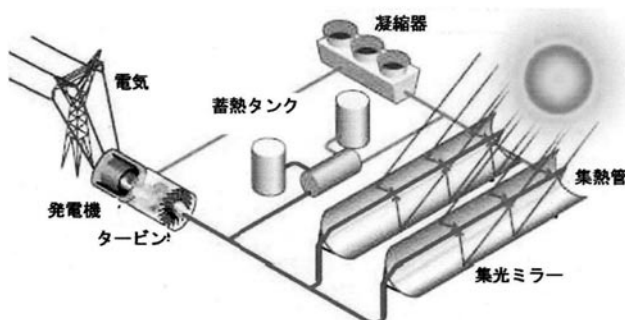
太陽熱利用技術に関して日本でも豊富な実績はある。太陽熱温水器が広く利用されていたことは記憶に新しいが、近年その使用実績が著しく減少していることは大変省エネルギーの観点で残念なことである。

ここで取り上げる熱発電は太陽光の集光によって高温を実現し、その熱で水蒸気を発生、水蒸気タービンを回転させ発電する方式である。

実用化実験は既に記したが日本のサンシャイン計画で取り上げられ、その当時世界最先端の熱発電技術が試されていたのである。サンベルト地帯では日本と異なり直達日照条件が良好なため発電容量0.5～10MWクラスの太陽熱発電所(Concentrating Solar Power: CSP)のパイロットプラント建設が進み、さらに1985年米国で民間商用プラントがカリフォルニア州モハベ砂漠にSEGS名で建設されていたのである。

2.1.1 パラボリックトラフ型熱発電

太陽熱発電システムの実用化は、パラボリックトラフ型から始まったと言われている。図2に放物面鏡の概念、図3⁴⁾と図4⁵⁾には代表的例としてのトラフ型CSP装置の部分図とシステムの例を示す。



出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

図2 パラボリックトラフ型熱発電の概念図



図3 パラボリックトラフ型反射板の写真例⁴⁾

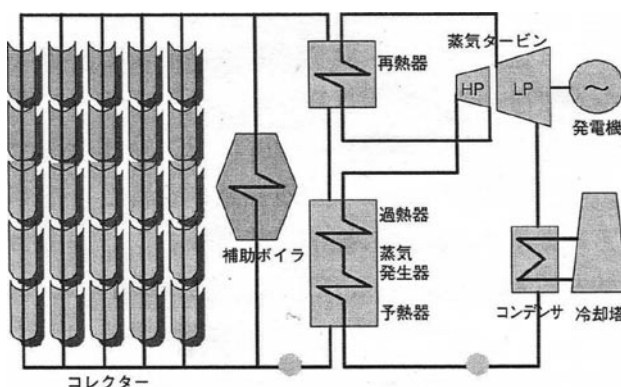


図4 パラボリックトラフ型熱発電システム概念図⁵⁾

パラボリックトラフ型は図2、3に示されるように半円筒状の放物面の集光鏡により平行太陽光を反射し、焦点の線上に設置されている集熱媒体(合成油)を加熱昇温し配管内の熱媒を循環させる。

放物面鏡で反射した光を集熱管でおよそ96%を熱に変換し(コレクターは効率よく光-熱エネルギーに変換する最も重要な要素技術である⁶⁾)集熱管中をおよそ10m単位で直列に繋いだモジュール管の流れながら熱媒体を加熱し続け、蓄熱部に集め400℃程度の熱エネルギーとして蓄積してゆく。最終的には390℃程度の水蒸気を発生し、それでタービンを駆動し発電することになる。蓄熱することで必要な時間に熱媒を廻し夜間でも発電させることができるという利点を有する。一方長いパスを通して熱を集めるために熱損失も大きく、熱-電エネルギー変換効率は高くない。また大規模化を進めてもこの欠点をクリアすることにはならないのが限界である。

既にトラフ型熱発電として1システムで80MWレベルの発電容量での商用発電が実現している。

トラフCSP技術は既に確立された技術であり、今後大幅な技術の進展は望めない、完成した技術と考えられる⁶⁾。

2.1.2 タワー型熱発電

東京ドームが2つ入る広い面積の敷地の中央におよそ50m高さのタワー2基がそびえ、それを囲む2万4000枚の大きな鏡が並びその反射光を集めたタワーは目もくらむ輝きを持つ。頂上の集熱器に水蒸気を流し、より高温の水蒸気とし、その蒸気がタービンを回し発電する⁷⁾。この例は米国のベンチャーe-Solar社のプラントで2009年にカリフォルニア州南部で稼働を始めた実証プラントであり、最大で5MWの能力を有する。

日本の仁尾プラントで試験されたものの一つがこのタワー型であり、世界で初めて実現したものである。しかし直達日照時間不足の日本で試験されたために失敗とされ、2度と振り返られることが無かった。

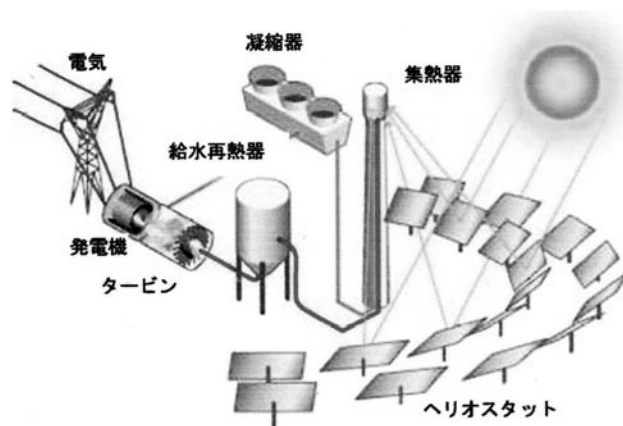
前記トラフ型に始まる熱発電は海外で広がり、次にこのタワー型熱発電が主力になりつつある。未だトラフ型の後塵を拝しているものの、タワー型が主力となることは間違いないとされている⁴⁾。

タワー型発電は多くの鏡(ヘリオスタットと呼ぶ)を並べ、しかも2軸で太陽光を追尾することで600℃の高温

を達成できるため効率良く発電できるので熱発電方式の主流となると考えられている。

このシステムの光電変換効率は20~35%にもなると見られており、一般の太陽光発電よりもはるかに高い効率を発揮することは注目される。図5にタワー型太陽熱発電システム概念図⁸⁾を、また図6にタワー型太陽熱発電プラントの写真の1例を示す⁹⁾。

トラフ型CSPと比較するとより広い面積から狭い面積へ集光することで高温が実現することが利点である。またトラフ型のように長い配管で媒体を流すことによる大きな熱損失を起こすことが避けられることが特徴である。



出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

図5 タワー型太陽熱発電システム概念図



図6 タワー型太陽熱発電プラント写真の一例

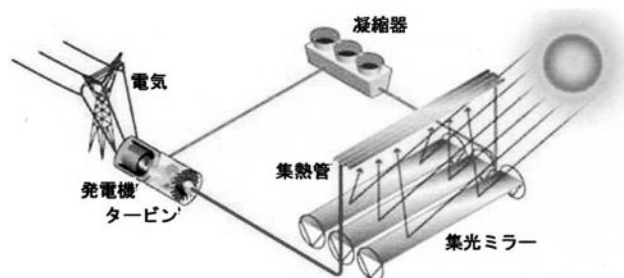
2.1.3 その他

(1) リニアフレネル型熱発電

トラフ型と類似の技術としてリニアフレネル型の集

光型熱発電方式(図7,8)がある¹⁰⁾。これは平面あるいは短径面で僅かに湾曲した短冊状の長いリニアミラーを1軸で太陽を追尾すると同時に、数メートル上方に配置された集熱管に集光して蒸気を直接発生させる方法である¹¹⁾。現状ではトラフ型よりもシステム効率は8~10%と低い、トラフ型の大きなパラボリック曲面ミラーに比較してフレネル長尺ミラーの作成が容易なためコスト的には有利となる。また熱交換器を通さず直接約480℃の高温水蒸気を発生できることからタービン効率向上が可能となること、さらに装置は地上に固定され一軸追尾に必要な駆動動力が小さくて済むこともこのリニアフレネル型の利点である。

現状未だ実証試験の段階で米国や豪州等で運転されている。



出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

図7 リニアフレネル太陽熱発電システム概念図



出典：DESERTEC-UK ホームページ (<http://www.trec-uk.org.uk/>)

図8 リニアフレネル型太陽熱発電実証機（豪）

(2) ディッシュ型熱発電

ディッシュ型太陽熱発電はパラボリック曲面集光ミラーあるいは小型の多数の集光ミラーを配置し太陽を追尾し、その焦点にスターリングエンジンあるいは小型のタービンを配置し発電するものである。

いずれの方式とも図9に示すような形状であり、全体の大きさは10m前後、太陽追尾装置を備えて発電を

行うのでその発電出力は5~50kW程度であり他のシステムと比較して小規模であり、分散型発電に適している。大電力を得るには多くの発電機を並べる必要がある¹²⁾。

熱媒の温度は約750℃まで昇温可能であり、米国では25kWシステムで30%の発電効率を実現している。米国や欧州等を中心に実証試験が進められているが大規模発電にはやや不向きと思われる。



図9 ディッシュ型集光発電装置

(3) 日本の新しい動向

仁尾プラント以来長い間熱発電に関する動きが無かった日本においても再興の兆しが見られる。その要因は大規模太陽光発電がグローバルな事業として熾烈な受託競争時代に突入してきたことにある。熱発電はグローバル競争の中でも太陽光発電に劣らず大切な発電事業となっているにもかかわらず、太陽光発電開発に対する日本政府の厚い開発支援に比べると圧倒的に少ない。しかし開発に新たな政府援助あるいは海外の支援が得られるようになり実商への動きが激しくなってきた。もう一つの理由として基本的な技術は古い既存の技術であり、参入のバリアーが低いこともある。

新しい技術として東京工業大学玉浦教授らの提案したビームダウニング方式¹³⁾等を挙げることができる。この技術はタワー方式の変形であるが多くのヘリオスタットから集光した光を二次反射鏡で下方に集光し、熱媒体の加熱を地上付近で行うことで操作を簡単にする利点があること、また将来的に高熱化学反応を通

してエネルギーの形態変化による蓄積を実現しやすくするというもう一つの利点をもたらされた¹⁴⁾。

またJFEエンジニアリング(株)らが中心となって、三鷹光器(株)の太陽追尾円形ヘリオスタット反射鏡を80基使用して高さ20mのタワー上部にあるレシーバーに集光し蒸気を発生しタービン発電する比較的コンパクトなタワートップ熱発電装置の実証試験が2012年度始まっている¹⁵⁾。図10に太陽熱発電タワートップ方式システム写真を示す。中央のタワーの周りに配置されたヘリオスタットからの光が集まり、光っているのがわかる。



図10 太陽熱発電タワートップ方式システム写真

:JFEエンジニアリング(株)様好意による

2.2 熱発電のまとめ

熱発電方式として上記4方式がある。それぞれの特徴、利点・欠点また発電の特性などを表1にまとめて示す。

各方法一長一短あり、どの方法でなくてはならないとは言えない。事実、開発歴史を見ればまずトラフ型が先行し2007年スペインでの31MWのタワー型プラント、上記e-Solar 5MWプラント(米国)が稼働している。他にも次々とサンベルト地帯でタワー型商用プラントの計

画が進められている。その見通し(概算値)が表2に示されている¹⁶⁾。また低炭素化の流れ、さらには原子力発電の危険性とフィッション生成物の処理に重大な懸念が明らかになり再生可能エネルギーへの転換にシフトせざるを得ない状態から考えて太陽熱発電量が2050年度には5000TWh以上になると推定されている¹⁷⁾。全使用エネルギーの約11%以上となる見込みである。

表1 太陽熱発電集光タイプと特徴

	パラボリックトラフ型	リニアフレネル型	タワー型	ディッシュ型
現 状	30から80MWp/ ユニット、商業運転中	トラフ型に類似 実証試験～実証に	大型のパワープラント 実証試験中	～30KW規模で 実証試験から実証化
利 点	・いち早く実用化 ・比較的簡単機構 ・貯蓄能力あり	・比較的簡単機構 ・貯蓄能力あり ・駆動コスト低い	・長期的に高性能 ・ハイブリッド可能 ・高温貯蔵可能	・熱効率良好30% ・需要に応じた稼働
欠 点	・運転温度低い ・熱損失大きい	・トラフ型と類似	・初期投資大 ・ヘリオスタット性能改善余地あり	・貯蔵・バックアップに問題あり ・高コスト・分散型
特 徴	放物面鏡を並べ運転 線集光 追尾方式 1軸追尾 焦点距離(m) ～3 集光倍率 30～40 熱媒体 合成油、熔融塩	線状ミラー多数配置 線集光 1軸追尾 ～30 30～40 合成油、蒸気	集光面に平面配置 点状集光 各ミラー2軸追尾 ～数100 ～800 熔融塩、蒸気	集光部に面上配置 点状集光 各ミラー2軸追尾 ～4 ～3000 Heガス

NEDO資料、日揮資料等から筆者が編集

表2 太陽熱発電の導入実績・見通し(概算値)

	2009年までの導入量[MW]	2009年までの発電量[GWh]	建設・計画中の容量[MW]
トラフ型 (フレネル型)	500 5	>16000 8	>10000 500
タワー型	40	80	3000
ディッシュ型	0.5	3	1000

出典:CSP Global Outlook 2009

3. 熱発電装置における材料・システム技術

以上に述べてきた熱発電装置を開発・販売する上で重要な各種の要素技術についてまとめる。

3.1 要素機器・設備

現在国内外に於いても様々な企業が高效率・高性能の太陽熱発電関連機器・設備の開発を実施している。主なものとして熱媒体、集熱管、集熱板、反射板、集光板、蓄熱設備がある。反射板として最も高性能なのが銀膜であるが単独では耐環境性が劣るために様々な工夫がなされているが未だ絶対的なものは無いのが現状である。またコスト削減要求が強く低コスト化が大きく問われている。

集熱性能は熱発電では重要因子であり、より高熱を発生するために耐熱性があり光を熱に変える効率の高いレシーバー材料技術の開発が喫緊事項である。

3.2 新システム

日本が先行している集光システムの中でビームダウン方式の優位性を今後どう活かすか、またどう発展させるかが今後大変重要である¹³⁾。

一方では水を使用しない発電方式も三菱重工業(株)が開発を進めている。水を使用しないで高圧・高温の空気タービンを廻し発電できる技術を提案し、砂漠地帯で優位性を発揮できれば大変優位性を世界に示すことになる^{13)a)}。

また太陽熱発電技術単独ではなくガスタービン発電を複合化する技術開発も重要になると考えられる。

4. まとめ

日本に於いて太陽熱発電は長い時間忘れ去られていたが、近年特にグローバル化対応が重要化するに従い太陽光集光および集光熱発電等大規模発電システムの海外展開が重要課題となり、そのシステム化対応は日本が得意とするインフラ産業輸出の一環としてオール日本での対応が求められつつある。そのことに鑑み、光発電に限ることなく熱発電さらには熱利用技術のさらなる向上は日本にとって再生可能エネルギーの利用化に大変重要な課題であると言えるのではないだろうか。

本レビューを終わるに当たって、写真・図等の使用許可をいただきました、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構様および写真等使用の便宜をおはからいいただいたJFEエンジニアリング(株)家本様には深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 西村啓道. The Chemical Times. 2011, 220, 7-11.
- 2) 田中忠良. 日本エネルギー学会誌. 2011, 90(4), 351-356.
- 3) a) 渋谷英俊, 宮本哲史, 都築寛志. エネルギーと動力. 2011, 61(276), 43-53.
b) 森伸芳. O plus E. 2011, 33(7), 702-709.
c) 中村勝重, 中村雅一, 中村学, 松葉正, 石間実, 中村実, 小野村敏之. 日本エネルギー学会誌. 2010, 89(4), 349-354.
- 4) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 編. “太陽熱発電の技術の現状とロードマップ”. NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010, 253-310. <http://www.nedo.go.jp/content/100107273.pdf>
- 5) 沖田信雄, 須山章子, 伊藤義康. エネルギーと動力, 2010, 60(274), 41-49.
- 6) <http://www.solaroaces.org/>
- 7) 金子憲治, 花澤裕二, 半沢智, 瀧本大輔, 山根小雪, 小瀧真理子. “主役に躍り出る太陽熱 米国や中東で進む大計画”, ECO Japan, 2010-7-13, <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/special/20100709/104189/>
- 8) NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010, p.255.
- 9) <http://www.swissinfo.ch/jpn/detail/content.html?cid=8589986>
- 10) NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010, 254-255.
- 11) NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010, p.254.
- 12) “Solar thermal energy”, Wikipedia, 2012-7-3, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_energy
- 13) a) NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010, p.300.
b) 金子憲治, 花澤裕二, 半沢智, 瀧本大輔, 山根小雪, 小瀧真理子. “主役に躍り出る太陽熱 米国や中東で進む大計画 日本発の新方式が登場”, ECO Japan, 2010-7-13, <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/special/20100709/104189/?P=5>
- 14) 玉浦 裕. 太陽エネルギー. 2000, 26(4), 31-40.
- 15) “太陽熱発電構想”. Fole, 2012, (116), p18.
- 16) NEDO 再生可能エネルギー技術白書, 2010, p267.
- 17) International Energy Agency. Technology Roadmap Concentrating Solar Power, 2010, p20.

最近のトピックス

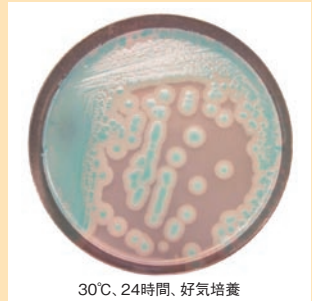
―食品検査について (*Bacillus cereus*)―

セレウス菌食中毒は、セレウス菌 (*Bacillus cereus*) に汚染された食品を喫食することにより発症する食中毒であり、嘔吐型と下痢型の2種類に大別されます¹⁾。嘔吐型食中毒は、本菌に汚染された食品中で産生された毒素(セレウリド)の摂取により、下痢型食中毒は食品とともに摂取された本菌がヒト小腸で増殖し、産生された毒素(エンテロトキシン)によって発症します。

本邦におけるセレウス菌食中毒の原因食品は、チャーハンやピラフ等の焼飯類が最も多く、嘔吐型食中毒が本菌食中毒事例の大半の報告とされています²⁾。通常の食品に認められる菌数(<103 CFU/g)では発症しないとされていますが、本菌の産生する毒素が耐熱性をもつこと、本菌が耐熱性の芽胞を形成するため、加熱調理された食品であっても毒素もしくは芽胞(食品の保存環境によっては発芽増殖を招く)が残ることから注意が必要です。検査が推奨される食品は、食肉・魚肉練製品、弁当、惣菜、調理パン、給食調理などです。本菌の検査法は、一般的に食品の10%乳剤を0.1mLずつ2枚の選択分離培地に塗抹し、32℃で24~48時間培養後、マンニト非分解、レシチナーゼ反応陽性、

ワックス状の粗造で湿潤な灰色から暗灰色のコロニーを疑い検査を進めます¹⁾。しかしながら、このコロニーの鑑別作業には検査の熟練が必要とされます。この度、関東化学は本菌を簡便に鑑別分離できる酵素基質培地「クロモアガー・パチルス セレウス」を上市致しました。図1に示しますように、30℃で18~24時間培養後、本菌は明瞭なハローを伴う青色コロニーとして識別できます。これにより検査にかかる培養時間が短縮され、かつ明瞭に本菌を検査できるものと考えます。

今後も、皆様のご要望にお応えできる試薬作りに鋭意努力してまいります。



30℃、24時間、好気培養

図1. クロモアガー・パチルスセレウスの培養所見

引用文献

- 1) 上田成子, “セレウス菌”, 食品衛生検査指針 微生物編 2004, 厚生労働省 監修, 社団法人日本食品衛生協会, 2004, 266-282.
- 2) 河合高生, 浅尾務, “*Bacillus cereus*”, 食品由来感染症と食品微生物, 仲西寿男, 丸山務 監修, 中央法規出版, 2009, 439-455

―「知の市場」における無料公開講座の開講―

このたび当社は、社会貢献活動の一環として、社会人向け公開講座「知の市場」において無料公開講座を開講します。「知の市場」は、「互学互教」の精神のもと「現場基点」を念頭に「社会学連携」を旗印として実社会に根ざした「知の世界」の構築を目指して、人々が自己研鑽と自己実現のために自主的に行き交い自律的に集う場とすることを理念とした、大学生や大学院生を含む広範な分野の社会人に開放された学びの場です。

当社は、お茶の水女子大学ライフワールド・ウオッチセンター(増田研究室)の連携機関として、今年度新たに開講することにした



※本件に関する情報は、当社ホームページからも確認できます。
<http://www.kanto.co.jp/info/chinoichiba.html>

ものです。従来は大学などの公的機関による開講が中心でしたが、昨年から民間企業が組織的に行う講座を始めています。当社は、「試薬論」と題した講座を開講し、計量・環境・人の健康・食の安全・産業の発展などを支える試薬の成り立ちから、各分野における試薬の役割などについて、それぞれのエキスパートが講

演することになっています。これにより試薬が日常生活や産業および経済活動を円滑に実施するための社会基盤の構築を支え、社会のリスク管理のための役割も果たしていることを周知していきたいと考えています。

【科目名】 試薬論

(副題: 生活と産業を支える社会インフラとしての試薬)

【日 時】 2012年10月3日 ~ 2013年1月23日[全15回]
毎週水曜日 18:30 ~ 20:30

【場 所】 お茶の水女子大学

講義内容

はじめに

1. 試薬とは
2. 試薬の規格と分析技術

計量を支える

3. 計量のトレーサビリティにおける試薬の役割
4. 標準物質と認証標準物質

環境を支える

5. 増大する環境分析

人の健康を支える

6. 健康管理における試薬の役割
7. 細菌検査における試薬の役割
8. バイオマーカーの検出を目的とした試薬と検査薬への応用

食の安全を支える

9. 食の安全を守る試薬
10. 食中毒に対する試薬の役割

産業の発展を支える

11. 医薬品産業を支援する実用的な触媒技術
12. エレクトロニクス産業を支える高純度薬品
13. 最先端エレクトロニクスデバイスの製造に用いられる機能性薬品

さいごに

14. 薬品管理
15. 未来に向けた材料開発