

# 研究開発の セレンディピティ物語

セレンディピティ（予期せぬ発見・発明）は研究開発のブレイクスルーとイノベーションをもたらす。セレンディピティの身近な事例からノーベル賞受賞の事例まで19例を取り上げた。その事例解析から、セレンディピティのチャンスを増やす10か条を作成した。

2017年5月



**株式会社 旭リサーチセンター**

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

## まとめ

- ◆セレンディピティとは「偶然と才気（洞察力）による予期しない発見・発明」をいう。  
そして、セレンディピティはブレイクスルーやイノベーションをもたらす。（p. 1～5）
- ◆セレンディピティの19の事例（①～⑱、旭化成を中心とする企業と大学の事例）を集め、キーワードを使って次の5つに分類した。（p. 6）
- ◆(1) ひらめきとオープンイノベーションによるセレンディピティ（事例3件）：ある仕草からひらめいた電子コンパス（①）、他社のポリマー合成コンセプトをヒントにひらめいたスチレンブタジエンブロック共重合体樹脂（②）、外国文献に発表されたばかりの金属酸化物と社内で研究中の炭素材料にひらめいて、自分の研究に取り込んだリチウムイオンバッテリー（③）である。（p. 6～12）
- ◆(2) 失敗と手抜きが招いたセレンディピティ（6件）：実験の失敗が思いもかけない発見・発明に至った例は、歴史的に多い。本レポート事例における失敗の理由は、青色発光LED（④）は加熱装置の故障、高分子用質量分析計（⑤）は化合物の取り間違い、ポリアセチレン（⑥）は触媒濃度ミス、カミンスキー触媒のMAO（⑦）は手抜きによる水分混入、透明導電性セラミックス（⑧）は焼成雰囲気のマスの、樹脂発泡体（⑨）は手抜きによる水分管理ミスである。（p. 12～19）
- ◆(3) 全くの偶然からのセレンディピティ（3件）：光が当たって褐色のスルホン化ポリエチレンが退色する現象を偶然見つけたことから始まった事例（⑩）、アイソタクチックポリスチレンをつくらうとしていたのが思いがけずシンジオタクチックポリスチレンが得られた事例（⑪）、ポリエチレン触媒の探索中に水素添加触媒を見つけた事例（⑫）である。（p. 19～22）
- ◆(4) ユニークな実験条件からのセレンディピティ（4件）：量論比以外の条件で変性剤を反応させた末端変性溶液重合SBR（⑬）、最初の研究テーマでは副生成物の多かった超高濃度触媒を次の研究テーマに生かしたヘテロポリ酸触媒（⑭）、粉末状態で強引に重合した非ホスゲン法ポリカーボネート（⑮）、学生時代の知見を持ち込んだ白血球除去フィルター（⑯）である。（p. 22～29）
- ◆(5) 研究の主目的ではない関連実験からのセレンディピティ（3件）：先行技術の追

試や解析中に新事実を発見したポリアセタールコポリマー (⑰) と重縮合反応 (⑱)、解析用サンプルの調製テクニックを応用したアラミドフィルム (⑲) である。

(p. 29~32)

◆以上の19の事例について17のキーワード(共通点)を選び解析した。17のキーワードのうち、5つはセレンディピティ事例の分類に利用した。その他のキーワードとしては、水と酸素とインピュリティ(対象事例6件)、実験で得られた異常現象・データの解明(同10件)、解析と測定(同4件)、試行錯誤とスクリーニング(同5件)、技術融合(同6件)、プロフェッショナル(同15件)、異なるバックグラウンドの人(同3件)、アマチュア(同5件)、ねばりと執念(同11件)、研究初期に遭遇(先行技術の解析時など、同5件)、ブレイクスルーに挑戦時に遭遇(同10件)、研究中止の危機の時に遭遇(同3件)である。

(p. 33~39)

◆上記キーワード解析より、「セレンディピティのチャンスを増やすための10か条」を下記のようにまとめた。これは研究を成功させるための10か条に通じる。

1. 実験重視、実験第一を信条に、ユニークな考えや幅広い条件で実験をする。
2. 水と酸素とインピュリティの影響を常に考え、コントロールする。
3. 異常現象・データに興味を持ち、見逃さない。原因をトコトン追究する。
4. 解析と測定をまずしてみる。
5. 効率的な試行錯誤とスクリーニングを試みる。
6. ひらめきを働かせて、必要技術を社内外から取り込む(オープンイノベーション)。
7. 技術融合で技術課題を解決する。
8. 若い研究者は「プロフェッショナル」になることを目指す。  
研究リーダーは、「出る杭」人財の採用、育成、処遇を心がける。
9. 成功すると信じてトコトンやってみる。テーマを継続し、成功に導く。  
上司はそれを辛抱強く見守る。
10. 実現したらすごい革新技术になるテーマに挑戦する。

(p. 40~41)

# 目 次

はじめに	1
1 セレンディピティと研究開発	2
2 セレンディピティの事例	6
(1) ひらめきとオープンイノベーションによるセレンディピティ	6
① 電子コンパス	6
② スチレンブタジエンブロック共重合体樹脂 (SB樹脂)	9
③ リチウムイオンバッテリー (LIB)	9
(2) 失敗と手抜きが招いたセレンディピティ	12
④ 赤崎教授、天野教授の青色発光LED (ダイオード)	12
⑤ 田中耕一博士の高分子用質量分析計	13
⑥ 白川英樹教授のポリアセチレン (PA)	14
⑦ カミンスキー教授のメチルアルミノキサン (MAO)	16
⑧ 透明導電性セラミックス	18
⑨ 樹脂発泡体	18
(3) 全くの偶然からのセレンディピティ	19
⑩ スルホン化ポリエチレン	19
⑪ シンジオタクチックポリスチレン	20
⑫ 水素添加触媒	21
(4) ユニークな実験条件からのセレンディピティ	22
⑬ 末端変性溶液重合SBR (末端変性S-SBR)	22
⑭ ヘテロポリ酸触媒	25
⑮ 非ホスゲン法ポリカーボネート (非ホスゲン法PC)	26
⑯ 白血球除去フィルター	28
(5) 研究の主目的ではない関連実験からのセレンディピティ	29
⑰ ポリアセタールコポリマー	29
⑱ 重縮合反応	31
⑲ アラミドフィルム	32
3 セレンディピティ事例のキーワードによる解析	33
4 セレンディピティのチャンスを増やすための10か条	40
おわりに	42

## はじめに

「偶然と才気（洞察力）による予期しない発見・発明」をセレンディピティという。セレンディピティはブレイクスルーやイノベーションをもたらす。またセレンディピティによる発見・発明は偶然なので他の人に真似されることが少なく、技術や製品の差別化ができる。

本レポートは、旭化成の事例を中心に企業と大学のセレンディピティの事例を19例紹介した。身近な事例が多く、誰もがセレンディピティの幸運に遭遇することができることを教えてくれる。事例の分野は、化学がほとんどで、その他に物理が2件ある。

また、19の事例の共通点を抽出して、キーワードを用いて解析した。その解析から、セレンディピティのチャンスを増やす10か条を作成した。

本レポートには専門の化学式や化学構造などを記載しているが、それを飛ばしてもストーリーがわかるように極力努力した。

なお、本レポートは、セレンディピティの切り口で記述したので、研究テーマ全体の説明としては適切でないかもしれないことや、事例によって入手情報量が大きく異なるため詳しさに大きなばらつきがあることなど、技術レポートとしての要件を満たしていない点があることをご容赦いただき、「物語」として読んでいただければ幸いである。

（注）敬称は大学の先生は教授とし、企業人は“さん”で統一した。ただし、田中耕一さんは、田中耕一博士とした。

資料に個人名の記載がある事例の①と③以外は、旭化成の研究者の名前は記載しなかった。なお、おおよそ30歳以下の人を「若い研究者」と記した。

# 1 セレンディピティと研究開発

## (1) セレンディピティという言葉の由来

旅に出かけたセレンディップ（今のスリランカ）の三人の王子が、様々な冒険と偶然の幸運に出会うペルシャのおとぎ話がある。竹内慶夫さん<sup>1</sup>が訳したものが、偕成社文庫として出版されている（図1）。

18世紀の英作家ウォルポールがこのおとぎ話を読み、「セレンディピティ」ということばを造語した。ウォルポールは「セレンディピティ」とは、「偶然と才気（洞察力）による予期しない発見」と簡潔かつ適切に定義している。偶然だけでなく才気（洞察力）が必須であることを明示したのは卓見である（図2）。

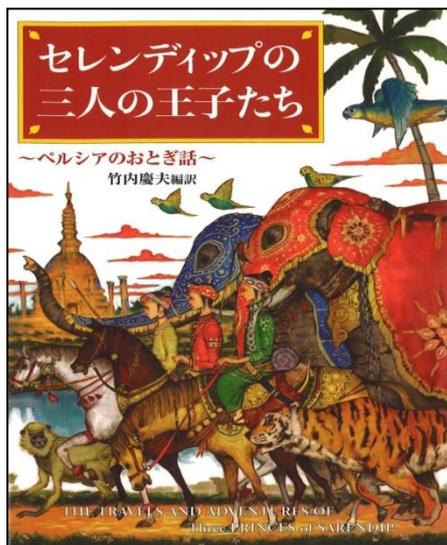


図1 「セレンディップの三人の王子たち」表紙  
出典：偕成社文庫。

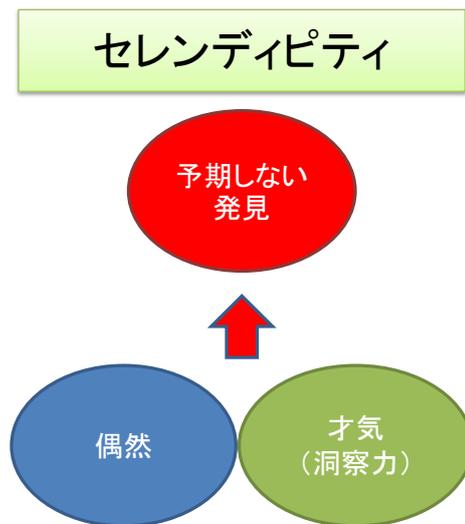


図2 ウォルポールのセレンディピティの定義  
出典：旭リサーチセンター作成。

<sup>1</sup> 竹内慶夫さんは、日本鉱物学会会長を歴任した元東大教授で、長年セレンディピティに興味を抱き、論説「セレンディピティとオリジナリティ」などを発表している。

また、セレンディピティについては、R. M. ロバーツ教授による著書「SERENDIPITY (Accidental Discoveries in Science)」1989年、日本語版「セレンディピティ<sup>2</sup>——思いがけない発見・発明のドラマ——」安藤喬志訳 化学同人刊 1993年がある(図3)。化学に関するセレンディピティの事例が多く紹介されている。

たとえば、培養皿に紛れ込んだ青カビからフレミング博士がペニシリンを発見した逸話は有名である。

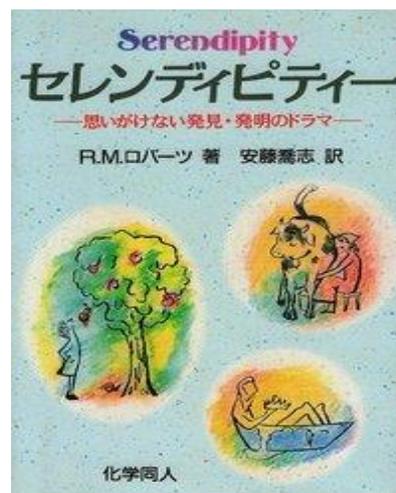


図3「セレンディピティ」の表紙  
出典：化学同人。

## (2) セレンディピティの範囲

セレンディピティは技術の発見・発明について使われることが多いが、それにとどまらず顧客からの質問やクレーム、友人との会話、人との出会い、新聞や雑誌の記事などの中にひらめきのヒントがたくさん隠されており、そうした偶然をとらえて幸運につながることもセレンディピティである。

## (3) どんな人がセレンディピティの幸運に巡り合えるのだろうか？

よく知られているのは、ルイ パスツールが講演で述べた言葉「チャンスは待ち構えた知性の持ち主にのみ微笑む」である。

これからすれば、課題達成に全力を傾けている研究者は、誰でもセレンディピティに巡り合える資格がある。

## (4) 研究開発におけるセレンディピティ

研究開発のモデルケースを以下に説明する。

ケース1：通常、新しい研究テーマが決まれば、それに関する科学技術の知識（ノレッジ）を集めて、研究方針や仮説を立てて実験を開始する。そして、得られた実験結果を

<sup>2</sup> Serendipity の訳語にはセレンディピティとセレンディピティーの二つがあるが、本リポートでは前者のセレンディピティを使用した。

考慮して仮説を修正しながら実験を進めていく。図4に示すように、研究が進むにつれて技術レベル（性能とコスト競争力）は急速に高くなっていく。そして、技術レベルが目標に到達すれば、製品化ができ、「めでたし、めでたし」である。こういう研究の進め方は合理的で、ここではリーズナブルリサーチ（Ⅰ）と呼ぶ。

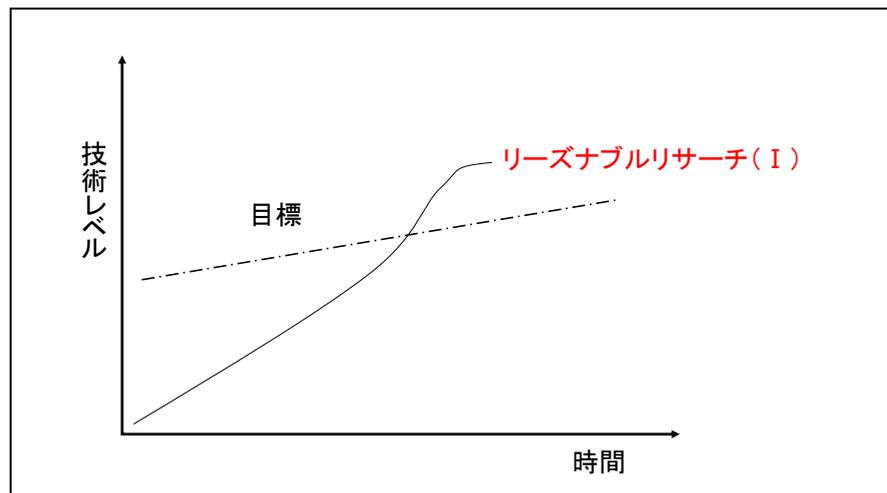


図4 リーズナブルリサーチ（Ⅰ）の技術レベルと目標の時間的経過（イメージ）

出典：旭リサーチセンター作成。

ケース2：しかし、よくあるのは図5に示すように、あるところで技術の壁にぶつかり、技術レベルがそれ以上に向上しないため目標に達せず、テーマ中止の議論がされる場合である。ここでは、これをリーズナブルリサーチ（Ⅱ）と呼ぶ。技術の壁を破れない場合の他に、研究が進むにつれて研究目標が高くなることも一つの原因である。市場価格が下がりコストが合わなくなったり、競合メーカーが現れて競争が厳しくなる場合などである。

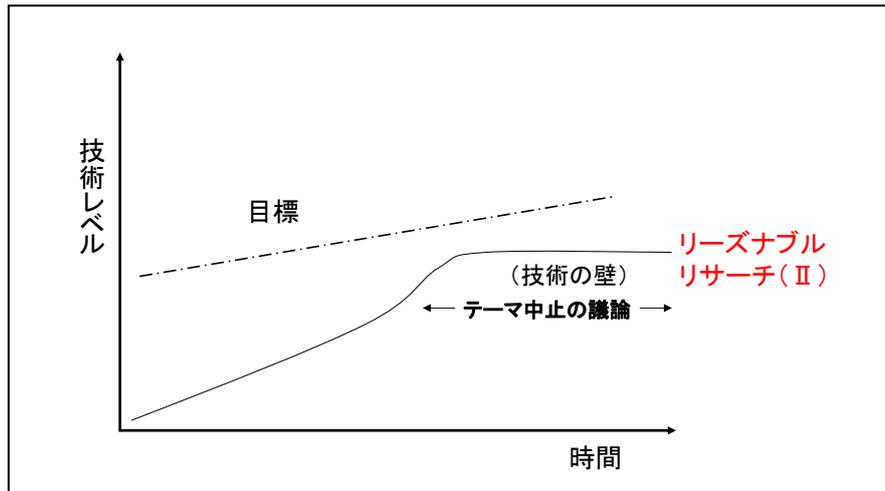


図5 リーズナブルリサーチ（Ⅱ）の技術レベルと目標の時間的経過（イメージ）

出典：旭リサーチセンター作成。

ケース3：ケース2で技術の壁にぶつかりなかなか目標に達しないときに、セレンディピティで技術がジャンプして目標をクリアすることがある（図6）。これを、ここではセレンディピティ型リサーチと呼ぶ。そういう事例を以下にいくつか紹介する。

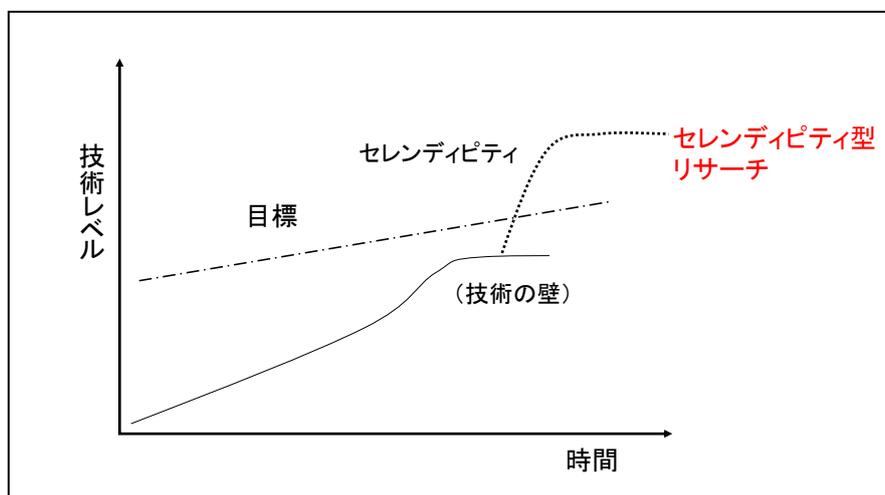


図6 セレンディピティ型リサーチの技術レベルと目標の時間的経過（イメージ）

出典：旭リサーチセンター作成。

## 2 セレンディピティの事例

本レポートではセレンディピティの事例を19件紹介する。事例は通し番号の①～⑱で示した。大学での事例と企業での事例が含まれている。企業の事例は大部分が旭化成のものである。

そして、事例はセレンディピティの性格から下記のように5つに分類した（分類には、34ページのキーワード解析を利用した。また、二つの分類に関係する事例については、主分類と副分類とした）。

- (1) ひらめきとオープンイノベーションによるセレンディピティ（①～③、3件）
- (2) 実験の失敗や手抜きが招いたセレンディピティ（④～⑨、6件）
- (3) 全くの偶然からのセレンディピティ（⑩～⑫、3件）
- (4) ユニークな実験条件からのセレンディピティ（⑬～⑯、4件）
- (5) 研究の主目的ではない関連実験からのセレンディピティ（⑰～⑱、3件）

これら(1)～(5)は性格が大きく異なるので、分類ごとに考察し、“**考察**”の項を入れた。

### (1) ひらめきとオープンイノベーションによるセレンディピティ

ある仕草からひらめいた電子コンパス（①）や、他社のポリマー合成コンセプトをヒントにひらめいたスチレンブタジエンブロック共重合体樹脂（②）、外国文献に発表されたばかりの金属酸化物と社内で研究中の炭素材料にひらめいて、自分の研究に取り込んだリチウムイオンバッテリー（③）の3件がある<sup>3</sup>。

#### ① 電子コンパス

二十数年前、車には既にGPSが搭載されていたが、携帯電話にもGPSを搭載して位置情報を知りたいというニーズが顕在化しつつあった。車の場合は速い速度で移動するの

<sup>3</sup> また、⑩のスルホン化ポリエチレンや⑫の水素添加触媒の事例は、そのセレンディピティを利用した側（感光材研究部門や合成ゴム研究部門）から見ればオープンイノベーション型ということができる。

で、GPSの2点以上のデータから方位情報（東西南北）を取得することができた<sup>4</sup>。一方、人は移動速度が遅く、立ち止まることもある。このため携帯電話にはGPSの他に方位を検出する方位センサー（電子コンパス）が必要となった。

複数の磁気センサーを使えば地磁気を検出して方位を知ることができるので、GPSと組み合わせて位置情報を知ることが原理的にはできる。ところが、携帯電話の中には、スピーカーなどの磁性部品に加え、カバーやネジなど、磁気に影響を与える部品が多く使われている。これらの強い磁気の中で微弱な地磁気を検出することが求められる。技術的に難しいことだが、これらの部品による磁気の影響をあらかじめ知ることができれば可能である。もう一つの問題は、携帯電話の中の磁気が携帯電話を使っているうちに徐々に変化してしまうことで、電子コンパスを使う直前に毎回キャリブレーションしなければならないことであった。

この課題をブレイクスルーした瞬間を、“磁気センサー.com<sup>5</sup>の新磁気センサー物語（著者は旭化成の菅野 康人さん）の第19回”「偶然か 閃きか キャリブレーションに成功！」に生き生きと描かれている。以下に抜粋、転載した。



（筆者撮影）

“ある日、山下昌哉さん（電子コンパスの開発者、以下、山下）は会議に出席するため、旭化成富士支社に向かっていた。最寄りの新富士駅から、いつものように歩き始めた山下。手には、電子コンパスのデモ機が握られていた。キャリブレーションの問題をなんとか解決しようと、山下は様々な場所でデモ機の性能を確かめていた。実は、新富士駅近くは、富士山の方向が北になる。しかも、会社に向かう道はまっすぐの一本道だ。電子コンパスの性能を確認するには絶好の場所だったのである。デモ機を手に、歩

<sup>4</sup> 現在は、いつでも位置がわかるように車も電子コンパスを搭載していると推定される。

<sup>5</sup> <http://jiki-sensor.com/sensor/story100.html> 新磁気センサー物語 17～22回 新磁気センサー物語は『事実』に基づいた内容だが、フィクションの物語の体を取っているため、物語の冒頭で、『ほぼほぼノンフィクション』と記述されている。

き始めた山下。途中、電子コンパスの表示が正しいかどうかを確認するために、何気なくデモ機の画面を眺めようとしたその時！———山下の全身に電撃が走った。デモ機がちゃんと北を指示しているかを確認するため、デモ機を左右に振っていた。この何気ない操作を応用すれば、携帯電話の中の磁気が計算できるのではないか?!山下はその場で立ち止まり、何度も今、自分がやった行動を確かめてみた。デモ機を持っていた手を上に上げ、くるっと向きを変え、画面を見る。これが、独自のソフトウェア（DOE®）の開発経緯である”。

まさに閃きであり、セレンディピティである。これが、携帯電話を持つ人の自然な動きをもとにして、常に妨害磁場の大きさを測り、電子コンパスを調整し続ける、自動調整技術（DOE®：Dynamic Offset Estimation）の発端であった。これにより、旭化成のもつ磁気センサーとLSIを融合した電子コンパスが完成した。

磁気センサーについては、柴崎一郎さんが中心になって多結晶InSb半導体から、薄膜InAs半導体や薄膜単結晶InSb半導体まで開発し、製品化している。その開発経緯は上記の新磁気センサー物語1～16回に詳しい。

また、山下さんの上司であった豊島日出夫さん（当時、研究所長）は、過去に医療用のMRI（核磁気共鳴画像法）の自社開発と事業化を果たしたリーダーであった。山下さんは入社してMRIに配属され、上司は豊島さんであった。そういうことで、2人はともに磁気のプロであり、MRI開発のなかでも微弱磁場のセンシングの経験があった。

電子コンパスの製造プロセスは、当初は化合物半導体系ホールセンサーとLSI（データの処理機能）を組み合わせたホールICであったが、磁気収束板を使ってシリコン（LSI）のセンサー機能を向上させることによりシリコンモノリシック化（センサーとデータ処理機能をシリコンLSIに一体化）に成功した。これにより電子コンパスの超小型化が実現した。

旭化成エレクトロニクスは、現在は3軸電子コンパスの世界トップのシェアを持つ。最新の製品は、AK09916C〈世界最小クラス：5ピン WL-CSP（1.2mm x 0.8mm x 0.5mm）のLSI〉で、スマートフォン・携帯機器向け3軸電子コンパスとして2016年に発売した<sup>6</sup>。

<sup>6</sup> 旭化成ホームページとニュースリリース。

## ② スチレンブタジエンブロック共重合体樹脂（SB樹脂）

米国のフィリップス社が、シクロヘキサン溶媒系のリビング重合で製造した高スチレン含量のスチレンブタジエンブロック共重合体樹脂（商品名「Kレジン」）を事業化した。

同じリビング重合の合成ゴム工場は新商品として興味を持ったが、プラントの溶媒がシクロヘキサンではなくヘキサンなので、SB樹脂はヘキサン不溶で製造ができない状況にあった。

その時、メタクリル酸メチル（MMA）のリビング重合について研究をしていたが、一向にうまくいっていない若い研究者が合成ゴム工場にいた。彼はこの話を聞いて、ICI社（かつてのイギリス・大手化学会社）がMMA系ポリマーの非水ディスパーション塗料（ヘキサン溶媒）を開発し、Queens Awardを受賞した<sup>7</sup>最近のニュースがひらめいた。

ICI技術のコンセプトを利用して、ヘキサン溶媒中のリビング重合であらかじめブタジエンリッチな可溶性SBブロック共重合体をつくっておいてから、スチレンリッチなSBブロック共重合体をつくと、白濁しているが均一な非水ディスパーションが得られた。ブタジエンリッチな可溶性SBブロック共重合体が高分子界面活性剤の役割を演じた。この白濁溶液を乾燥したら、驚くべきことに透明フィルムが得られた。その後、SB樹脂（商品名「アサフレックス」）が事業化された。

## ③ リチウムイオンバッテリー（LIB）

LIBは他の二次電池に比べ高いエネルギー密度と4.2Vという高い電圧を有することが特長で、電子機器の軽量化、小型化に貢献している。また、電気自動車の動力源として大きく発展することが期待される。

旭化成はLIBの開発をする前は、二次電池のメーカーではなかった。ゼロからLIBを発明した旭化成の吉野彰さんは著書『リチウムイオン電池開発物語』で開発経緯を語っている<sup>8</sup>。セレンディピティの観点から注目した点を以下にまとめた。

吉野さんは当初、事例⑥の白川教授が発明したポリアセチレン（PA）に注目し、n

<sup>7</sup> ICI社が使用した重合法はラジカル重合法である。また、受賞理由は、大気汚染の原因である芳香族溶媒を使用しない脂肪族溶媒使用の環境にやさしい塗料であった。

<sup>8</sup> 吉野彰『リチウムイオン電池開発物語』CMC出版（2004）

型PAを負極に使用することを考えた。当時、世の中の他の研究者たちはp型PAを正極に使用し、リチウム金属を負極に使用することを考えていた。吉野さんは不安定で安全性に重大な懸念のあるリチウム金属を負極に使用したくなかった。n型PAはp型PAに比べて安定性に劣ると言われていたが、吉野さんはn型PAも絶乾状態に保てば安定であるとの知見を独自に有していた。

吉野さんは適当な正極を見つけることができないでいたが、幸いなことにイギリス・オックスフォード大学のグッドイナフ教授が発表した新規化合物 $\text{LiCoO}_2$ の文献に遭遇した。吉野さんは $\text{LiCoO}_2$ が正極に適した物質と考え、早速テストし良い結果を得た。

そして、一応電池は組み上がったが、負極のPAは安定性に劣り、また、密度が低くいためにかさばるという問題が明らかになった。プロジェクト中止の危機であり、この問題を早急に解決することが求められた。多くのカーボンがテストされたが、結果は不成功であった。

しばらくして、川崎市で研究していた吉野さんは、延岡市にある繊維研究所で気相成長のカーボンファイバー（VGCF）を繊維として開発中であることを知り、これに注目した。幸いにも、VGCFは負極材料として、優れた性能を示した。これをもって、1985年に発明は完成した。後に、VGCFよりも工業的に入手しやすいカーボンも見つかった。

そして、吉野さんは世界に先駆けて、正極、負極、電解液、セパレーター、集電体からなるリチウムイオン二次電池（LIB）の開発に成功した（図7）。

LIBは事業化され、また吉野さんらの基本特許はほとんどのLIBメーカーにライセンスされた。そののち、LIB事業からは撤退したが、旭化成はLIBの重要部材であるセパレーターの世界のトップメーカーになった。

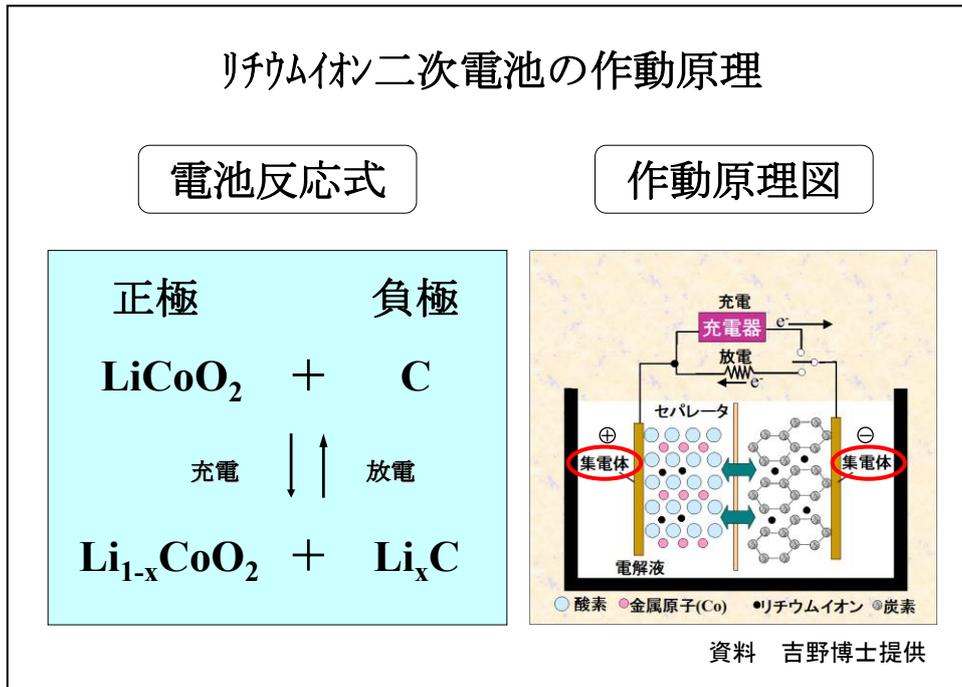


図7 リチウムイオン二次電池（リチウムイオンバッテリー）の作動原理

## 考察

(1) 事例の①～③ともひらめきが重要なことを示している。そして、ルイ パスツールの言葉をもじっていえば“ひらめきは待ち構えた知性の持ち主にのみに生まれる”である。

(2) 社内情報の活用：事例③のLIBの炭素材料は社内情報である。事例⑩のスルホン化ポリエチレンと事例⑬の水素添加触媒も社内情報を利用している。狭い社内の中で、このような事例が複数発生していることは驚くべきことである。

このことは、社内の技術情報に容易にアプローチできて、しかもその技術を容易に利用できるシステムの構築や研究者同士がいつでも気軽に情報交換し、利用し合う風土が重要であることを示唆している。

(3) 社外情報の活用：事例②のSB樹脂は他社の技術コンセプトの利用であり、事例③のLIBは $\text{LiCoO}_2$ の文献にひらめいて、自分の研究に取り込んだものである。

社外の実験結果やコンセプトが思いがけず自分の研究に役立つ。大げさに言うと、“自分のための研究を世界のどこかでやっているのをこれを利用しない手はない”である。

これらは社外の実験結果やコンセプトを利用するので、オープンイノベーション型ということができる。構成部品・材料の多い、電池、ディスプレイ、携帯機器などの研究には特に重要になる。

またビッグデータやAI（人工知能）が発展しているので、自分が必要とする技術を探すことは容易になるだろう。半面、ビッグデータやAI（人工知能）を使った検索エンジンにたけたところが、研究開発を制する可能性もある。

## (2) 失敗と手抜きが招いたセレンディピティ

実験の失敗や手抜きから思いがけない結果を招き、これを解明して発見・発明に至った例は歴史的に多い。本リポートでは6件の事例を紹介する。ミスや手抜きの理由は、青色発光LED (④) は加熱装置の故障、質量分析計 (⑤) は化合物の取り間違い、ポリアセチレン (⑥) は触媒濃度ミス、カミンスキー触媒のMAO (⑦) は手抜きによる水混入、透明導電性セラミックス (⑧) は焼成雰囲気ミスのミス、樹脂発泡体 (⑨) は手抜きによる水分管理ミスである。

### ④ 赤崎教授、天野教授の青色発光LED (ダイオード)

2014年に赤崎勇教授、天野浩教授、中村修二教授の3氏が青色発光LED (ダイオード) の開発でノーベル物理学賞を受賞した<sup>9</sup>。

名古屋大学の赤崎教授と天野教授 (当時大学院生から助手) はLED用材料としてほかの研究者が注目しなかった化合物半導体の窒化ガリウム (ガリウムナイトライド) を選択して、粘り強く研究を続けた<sup>10</sup>。まず、サファイア基板の上に有機金属気相成長 (MOVPE) 法で窒化ガリウムを成長させる方法を選択してトライしたが、格子定数が16%も違うので結晶性の良いものができなかった。サファイア基板の上に窒化アルミニウムのバッファ層をつくり、その上に窒化ガリウムを成長させる方法を考えトライした。バッファ層も窒化ガリウム層も通常約1000°Cで製膜する。ある時、天野教授 (当

<sup>9</sup> 2014年10月8日の読売、朝日、毎日、産経、日本経済の各新聞の朝刊と夕刊。

<sup>10</sup> 天野浩、福田大展『青色LEDの世界』講談社 (ブルーバックス B-1932)、2015。

時大学院生)が実験中に炉の調子が悪く、バッファー層を製膜するときに約500℃しか上がらないことがあった。その上に1000℃で窒化ガリウムを製膜したところ思いがけず透明で結晶性の高い窒化ガリウムが得られた<sup>11</sup>。1985年の大発見である。

天野教授のノーベル賞受賞時のコメントが読売新聞の2014年10月8日夕刊に掲載されている。“LEDに適した結晶は、電気炉の不調で、温度が上がらないために生まれた。「すりガラスのような結晶ばかりだったが、たまたまきれいな結晶ができて、心の底から驚いた」と振り返った。”これは、当時海外では「セレンディピティ」と紹介された。

なお、当時大学院生であった天野教授は実験に明け暮れる毎日であった。この透明で結晶性の高い窒化ガリウムは、1500回を超える実験の末に生まれた成果であった。天野教授はいつか成功すると信じて実験に没頭したという。

次に、窒化ガリウムのp型半導体をつくるというもう一つの難しい課題に挑戦し、共同研究者とともに1000回を超える実験の末、マグネシウムドーピング法を開発し、青色に光るLEDをつくることに成功した(1989年)。そして、1992年に発光効率1%のLED試作に成功し、1995年に豊田合成からLEDが販売された。

## ⑤ 田中耕一博士の高分子用質量分析計

島津製作所(株)の田中耕一博士は2002年に「高分子物質のソフトレーザー脱離イオン化法の開発」でノーベル化学賞を受賞した。高分子物質を分解しないように、レーザーでマトリックスを超短時間に加熱し、マトリックスに付着させた高分子物質を脱離・イオン化をして、質量分析を可能にした業績である。

受賞後、田中博士は『人生最高の失敗』と題する本を出版した。本の題目に示されるように、博士が実験的失敗にからんで大発見したことは注目すべきである。また、田中博士の専攻が電気工学であり、化学でないことも注目される。博士はそれまで世界的に達成できていない高分子量物質の質量分析を可能にすることに挑戦していた。超微粒金属粉をマトリックスに使ったテスト中に、間違っ

<sup>11</sup> 500℃でつくった窒化アルミニウムを次の工程で1000℃に上げると、大きな結晶が生成し垂直に並ぶことが判明した。その上に、窒化ガリウムをつけると透明な結晶ができる。

セトンのかわりにグリセリンを使用してしまった<sup>12</sup>。すぐに田中博士は失敗に気がついたが、開発中の最先端装置を駆使して綿密に測定を続け、現れた高分子物質の極めてわずかなピークを見逃さなかった。実はそれまでにプレザーバーとして大抵の化合物はすべてテストしてきており、仲間のケミストはもういいものは見つからないと言っていたという。田中博士がグリセリンに遭遇したのは、徹底的にプレザーバー用化合物をスクリーニングした後であった<sup>13</sup>。

なお、マトリックスに使った超微粒金属粉について田中博士は本の中で次のように述べている。“超微粒金属粉の開発は日本がパイオニアで、当時日本でしか作っていないものが多く日本のお家芸のようなものであった。このように異分野技術をマトリックスに使うことで「高分子物質のソフトレーザー脱離イオン化法」という独創的研究をすることができた。こういう例は多く、異分野技術の融合は重要である”。

この技術は改良が加えられ、現在MALDI-TOFMS「AXIMA」シリーズとして島津製作所より販売されている。MALDIとは、Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization（マトリックス支援レーザー脱離イオン化法）、TOFMSとは、Time of Flight Mass Spectrometry（飛行時間型質量分析法）の略称である。「AXIMA」は商品名である。

## ⑥ 白川英樹教授のポリアセチレン（PA）

白川教授は導電性ポリマーであるポリアセチレンの研究で、2000年にノーベル化学賞を受賞した<sup>14</sup>。

教授がポリアセチレンの研究をしていた1967年頃、留学生がきて研究室で実験をした。留学生はアセチレンの重合を行う際に、重合触媒であるチーグラ触媒の量をミリモルとモルを取り違え、指示の1000倍の触媒を反応液に入れてしまった<sup>15</sup>。フラスコ上

<sup>12</sup> マトリックスに使われる超微粒金属粉はレーザー光をよく吸収し、急速加熱される。アセトンなどの保持剤を使って、たんぱく質などの高分子物質をマトリックス表面に塗布する。急速加熱された金属粉により高分子物質が加熱され、イオン化して気化するので、これを飛行させて質量分析する。

<sup>13</sup> 田中耕一『生涯最高の失敗』朝日選書 736、朝日新聞社刊（2003）

<sup>14</sup> 白川英樹『化学に魅せられて』岩浪新書 709、岩波書店刊（2001）

<sup>15</sup> 1000倍の触媒を使うことは普通考えにくい。実は、留学生は白川研の研究生ではなく、同じ大学の他の研究室の研究生であった。留学が終了し帰国する前にその研究室の指導教員より、実験の経験の幅を増やすために白川研に派遣されて、実習実験したという。

部の気相にアセチレンガスを導入して重合を行ったが、たまたま攪拌子がうまく回っておらず、フラスコ中の触媒溶液は静置されていた（図8）。

留学生はうまく重合しないと教授に報告した。教授がよく見ると、気液界面の一部にフィルム状のものができていた。教授はこれを解析して、ポリアセチレンフィルムであることを突き止めた。そして重合条件を最適化して、1967年に世界で初めて金属光沢の良質な大面積のフィルムをつくり、物性研究を進展させた。

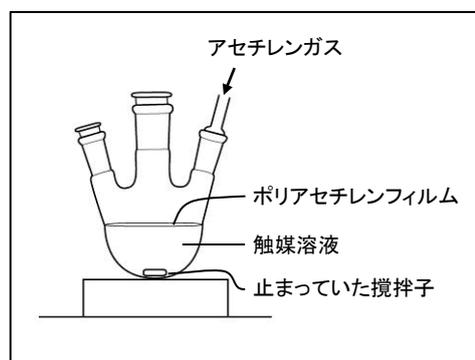


図8 アセチレンの重合実験（想像図）

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

それまでは粉末状のポリアセチレンしか得られていなかった<sup>16</sup>。

白川教授は、ポリアセチレンフィルムの発見は「セレンディピティである」と自ら語っている。

ポリアセチレンフィルムの発見から6～7年経ってから米国ペンシルベニア大のマクダイアミッド教授が東工大を訪れ、セミナーを行った。白川教授は出席されていなかったが、セミナーに出席した東工大の先生が白川教授の銀色に光るポリアセチレンフィルムについて話をしたら大変興味を持った。それでマクダイアミッド教授を白川教授に引き合わせた。それが縁で、翌年白川教授はマクダイアミッド教授に招かれペンシルベニア大学に赴き、物理が専門のヒーガー教授を含め3人で共同研究をすることになった。そして1976年に3人のディスカッションのなかで、ポリアセチレンのハロゲンドーピングの話が出て、実験すると100万倍高い比伝導度の導電性高分子が得られた。たまたま、専門の異なる白川教授（高分子化学専門）、マクダイアミッド教授（無機化学専門）、ヒーガー教授（物理専門）の3人が出会い、共同研究できたのもセレンディピティの一つと考えられる<sup>17</sup>。2000年に3人はノーベル化学賞を共同受賞した。

<sup>16</sup> ポリアセチレンは熱不融でかつ溶ける溶媒がないので、粉末からフィルムをつくるができない。

<sup>17</sup> ARC 定例研究会基調講演「私のセレンディピティ」白川英樹、ARC リポート（RS-929）2011年3月

## ⑦ カミンスキー教授のメチルアルミノキサラン (MAO)

ポリエチレンの歴史は、水と酸素とインピュリティによるセレンディピティの歴史である。

高圧法ポリエチレン（低密度ポリエチレン）は偶然混入した酸素が重合開始剤（触媒）となりエチレンが重合したセレンディピティである。

また、チーグラ博士はアルキルアルミニウム触媒を用いてエチレンをオリゴマー化する実験中に、反応液に偶然金属塩不純物が混入したことにより、高分子量の高密度ポリエチレンが得られるセレンディピティに遭遇した。これが有名なチーグラ触媒に発展した。その代表的組成は、遷移金属化合物（四塩化チタンなど）とアルキルアルミニウムの組み合わせである。

さらに、ポリエチレンにセレンディピティが起こった。それは、カミンスキー触媒（メタロセン/MAO系のシングルサイト触媒）である。

ハンブルグ大学のカミンスキー教授は「メタロセン」をチーグラ・ナッタ触媒の一成分として研究していたが、「メタロセン」と助触媒のアルキルアルミニウムからなる均一触媒の実用化の可能性は低かった。しかし、助触媒のメチルアルミノキサラン (MAO) の発見により、状況は一変した。MAOの発見は少なからず偶然であり、セレンディピティといえる<sup>18, 19</sup>。

1975年にカミンスキー教授はエチレン重合の反応機構を研究する目的で均一系触媒としてチタノセン・トリメチルアルミニウム<sup>20</sup>を選び、低温（-40℃～室温）で水素トランスファー反応の進行をNMRで追跡することを試みた。トリメチルアルミニウムは酸素に鋭敏なためNMRチューブには酸素の混入を絶対避けるべきなのに、実験を指示された博士課程の学生はこの注意を守らず簡便な方法で反応試剤を空気中でNMRチューブに仕込んだ。ところがこの学生は水素トランスファー反応がこれまでになく進行し、ポリ

<sup>18</sup> W. Kaminsky, Highly active metallocene catalysts for olefin polymerization, J. Chem. Soc., Dalton Trans, 1998, pages 1413-1418

W. Kaminsky, The discovery of metallocene catalysts and their present state of the art, Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry Vol. 42, 3911-3921 (2004)

<sup>19</sup> 熊田誠「歴史に学ぶ」有機合成化学協会誌 56 巻 8 号 巻頭言 (1998)

<sup>20</sup> 用いたチタノセンはビスクロペンタジエニルチタニウム ジメチルでメタロセンの一種である。ジルコノセン・トリエチルアルミニウムよりも活性が低く、反応速度を調べるには向いていると考えた。

エチレンが生成するという注目すべき予期せぬ結果に遭遇した。

報告を受けたカミンスキー教授は原因を解明すべく、1リットルのオートクレーブを用いて「予期せぬ結果」の再現を試みた。原因は、反応系に混入した酸素、不純物のハロゲン化物、あるいは水（水分）であろうと当たりをつけて実験を行った。数カ月にわたる試行錯誤の末、意外にも酸素ではなく水が原因と判明した。チタノセン・トリメチルアルミニウム触媒に等モルの水を添加すると反応速度は約 $10^5$ 倍にも増大するという従来の固定概念を打破する結果を得た。

2年後にはチタノセンなしに、トリメチルアルミニウムと水からメチルアルミノキサン（MAO）を調製することに成功した。MAOを使うとチタノセン・トリメチルアルミニウム触媒に等モルの水を添加したもの比べ100倍活性が上がるのがわかった。MAOは単一物質ではなく、図9に示されるような混合物であることも解明した。

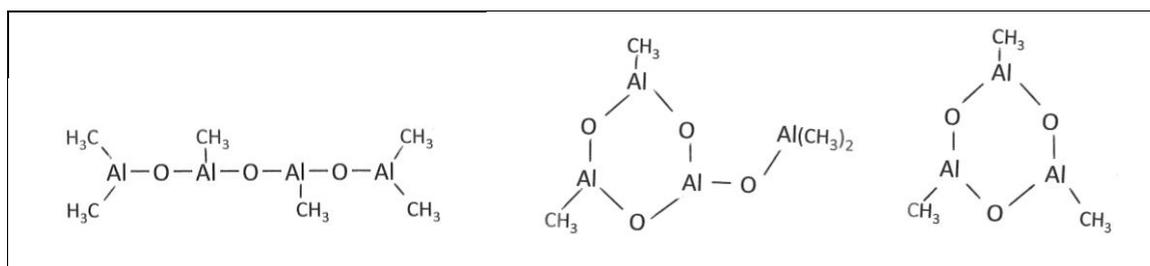


図9 線状と環状のメチルアルミノキサン

出典：W.Kaminsky, M. Fernandes, Discovery and development of metallocene-based polyolefins with special properties, Polyolefins Journal, Vol.2 No.1 (2015) 1-16を参考に、旭リサーチセンター作成。

さらに2年後には高活性ジルコノセン・MAO触媒への転換、1984年にはキラルなジルコノセン・MAO触媒による高純度のアイソタクチック・ポリプロピレンの合成と画期的な成果を上げた（図10）。

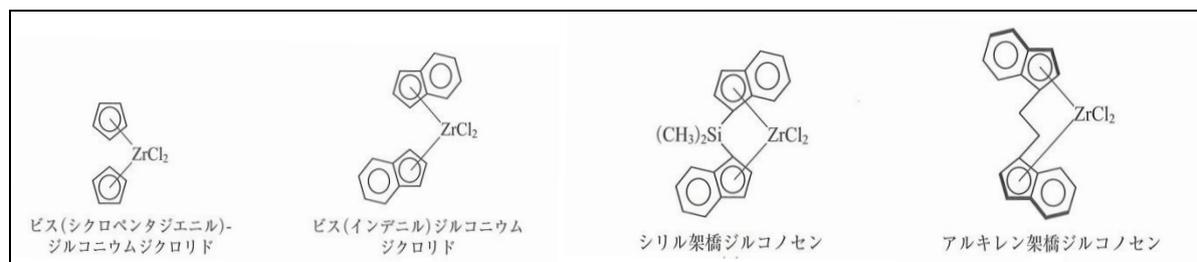


図10 ジルコノセン触媒の一例

出典：Wittcoff・Reuben・Plotkin「工業有機化学（上）」、田島慶三・府川伊三郎訳、化学同人（2015）、363ページ

メタロセン/MAO触媒系は均一系のシングルサイト触媒として発展し、ポリエチレン工業に大きなインパクトを与えた。

なお、トリメチルアルミニウムよりも活性が高く、助触媒として一般に使用されるトリエチルアルミニウムからつくったエチルアルミノキサンはMAOのような活性を示さなかったというから面白い。

## ⑧ 透明導電性セラミックス

学生Aが、ある無機物をセラミックスにすべく炉で焼成した。半分焼成した後、炉を切って一夜放置した。次の日別の学生Bが、別のサンプルを同じ炉に入れて還元雰囲気下（水素条件下）で焼成した。このため、学生Aのサンプルも還元雰囲気下で焼成されるところとなった。得られた焼成物は透明であった。教授に見せると、目の前で電流計を使って電気導電性を測定した。透明導電性セラミックスの発見であり、研究はそれ以降大きく発展した。

## ⑨ 樹脂発泡体

フィルター入り樹脂の発泡体を開発すべく、発泡剤を使い押出機で連続的に発泡体を試作していた。できた発泡体は定期的にサンプリングして性能をチェックした。ある時、物性の良い発泡体を得られたが、なぜできたのか原因がわからなかった。

運転員によくよく聞いてみると、連続運転中に原料の乾燥フィルターが足りなくなり、乾燥する前の購入フィルターを混ぜたことを告白した。少量の水分が特殊な発泡体構造をつくり、これが優れた物性を与えることが判明した。

## 考察

(1) 本分類の事例④、⑥～⑧は、大学生が失敗や手抜きを行い、その予期せぬ結果をプロフェッショナルの教授が原因解明して、発見・発明に至るという大学での典型的な事例である。それに関して思い出すのは、“大学ではセレンディピティが頻繁に起こっているのです、産業界でぜひ利用してほしい”と、東大の教授がかつて経団連と東大の産

学連携協議会で発言されたことである。

また、副分類で本分類に入るものに、事例⑮の非ホスゲン法ポリカーボネートがある。反応器が所定の温度に上がらなかった失敗がセレンディピティを生むことになった。

(2) 事例の失敗や手抜きの原因は、温度設定、化合物の取り違え、水分混入、濃度ミス、焼成雰囲気ミス、水分コントロールミスである。逆に、これらの実験条件を幅広く振れば、失敗や手抜きがなくてもセレンディピティに遭遇するチャンスがあることを示唆している。

(3) 異常な現象・データを見逃さず、解明することは重要で、それには時間がかかり、また研究者の力量もいる。たとえば、カミンスキー教授は手抜き実験の予期せぬ結果をモデル実験で解析し、相当な時間をかけてメチルアルミノキサラン (MAO) を発見した。

(4) 失敗や手抜きを報告しやすい研究室の雰囲気も重要である。

事例⑦について、熊田誠教授は<sup>19</sup>、“学生は異常データを、手抜きの簡便法の正直な告白を含めカミンスキー教授に報告した。教授が非凡であったのは、学生の手抜きを咎めもせず、彼が見いだした「偶然の結果」を正面から取り上げたことにある。ミスを叱正せず、話をよく聞き実験結果を解析したことがセレンディピティの幸運に遭遇することになった”と記している。

(5) ④～⑦の事例は、困難なテーマに取り組んだプロフェッショナルの教授たちの「ねばりと執念」の賜物である。

### (3) 全くの偶然からのセレンディピティ

光に当たって褐色のスルホン化ポリエチレンが退色する現象をたまたま見つけたことから始まった事例 (⑩)、アイソタクチックポリスチレンをつくらうとしていたのが思いがけずシンジオタクチックポリスチレンが得られた事例 (⑪)、ポリエチレン触媒の探索中に水素添加触媒を見つけた事例 (⑫) がある。

#### ⑩ スルホン化ポリエチレン

ある研究者がポリエチレンを硫酸ガスでスルホン化して親水性ポリエチレンをつく

る研究をしていた。

ある時、褐色のスルホン化ポリエチレンのサンプルを太陽光の当たる窓辺に放置していたところ色が薄くなっていることに気づき、水をかけてみると親水性が消失していることがわかった。解析により、スルホン化ポリエチレン中の共役ポリエンスルホン酸結合が太陽光の下で分解し、亜硫酸ガス（SO<sub>2</sub>）を発生することがわかった。

旭化成は感光性ポリマーを用いた印刷版事業を手がけていたので、この研究者は事業部にコンタクトした。そして、研究者は事業部と共同して、光照射により親水性から疎水性に変わる性質をオフセット印刷に利用できないかを検討した。というのもオフセット印刷は親水部に湿し水が付着し、疎水部にインクが付着することにより印刷を行う原理になっているからである。ベンチスケールの研究が行われたが工業化はされなかった。

セレンディピティがあったら必ず事業化に成功するとは限らない。実際の研究開発においては、何度か技術の壁、コストの壁、市場の壁にぶち当たることが多い。1回のセレンディピティだけでは事業化成功に十分でない場合もある。

## ⑩ シンジオタクチックポリスチレン<sup>21</sup>

出光石油化学の石原伸英さんは、「ブレイクスルーに必要なSerendipity:シンジオタクチックポリスチレンの発見」と題して開発経緯を有機合成化学協会誌に発表している。石原さんは、1982年にカミンスキー触媒（メタロセン/MAO系、事例⑦参照）などの可溶性触媒を使って高分子構造を制御する検討を開始した。「可溶性触媒による立体規則性重合」への挑戦である。当時立体規則性（アイソタクチック）重合を行うためには、溶媒に不溶な固体表面の存在が不可欠であるとの既成概念があった。

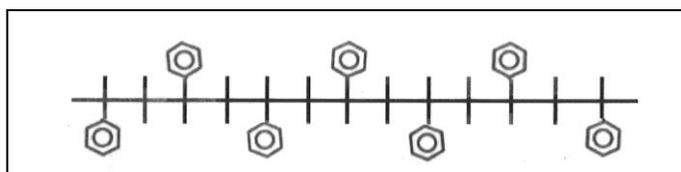
研究当初はアイデアの具現化には至らず、失敗の山であった。方針を少し変えて、触媒構造と立体規則性について基礎的データを取り、特にスチレンモノマーについてモノマーと金属の電子的相互作用を考慮して検討を始めた。このうち、合成したモノシク

<sup>21</sup> 石原伸英 「ブレイクスルーに必要な Serendipity:シンジオタクチックポリスチレンの発見」、有機合成化学協会誌 Vol. 58 No. 5 376-377 (2000)

ロペンタジエニルチタニウムトリクロライドとMAOを触媒に用いると驚くべき速度で重合が進行し、ポリマーが溶媒不溶で析出した。解析してみると、アイソタクチックポリスチレンではなく世界初のシンジオタクチックポリスチレンであった。シンジオタクチックポリスチレンは融点が270℃でアイソタクチックポリスチレンよりも融点が高く、耐熱性に優れる（図11）。出光石油化学が1997年に世界で最初に工業化に成功した。商品名は「ザレック」(XAREC)である。

#### シンジオタクチックポリスチレン

(結晶融点 270℃、Tg 100℃)  
(結晶化速度速い)



#### アイソタクチックポリスチレン

(結晶融点 240℃、Tg 100℃)  
(結晶化速度遅い)

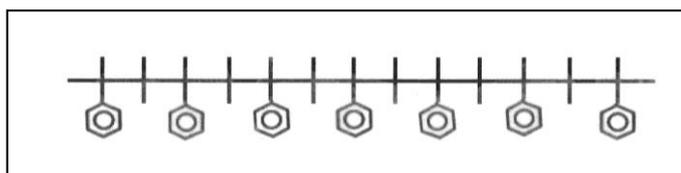


図11 アイソタクチックポリスチレンとシンジオタクチックポリスチレンの比較

出典：出光興産ホームページを参考に旭リサーチセンター作成。

## ⑫ 水素添加触媒

岡山県・水島のポリエチレン工場で触媒のスクリーニング中に、いつもより高分子量のポリエチレンが少量生成する触媒が見つかった。研究リーダーは重合器の気相の分析を指示した。異常に多いエタンが気相から検出された。これは原料エチレンと水素が気相で反応し、エタンが生成したものと推定された。通常、水素は分子量調節剤として重合器に供給される。この触媒は水素添加能力があることが推定された。

一方、川崎の合成ゴム工場では、合成ゴムの不飽和結合を水素添加するよい触媒をずっと探索してきたが、よい触媒は見つかっていなかった。公知の触媒を使って水素添加を行うには高压水素条件が必要であった。

幸いポリエチレン工場と合成ゴム工場の間コミュニケーションがあり、ポリエチ

レン工場は合成ゴム工場のニーズを知っていたのでこの触媒を紹介した。テストしたところ、驚くべきことにこの触媒は低圧水素条件下でも合成ゴムを水素添加することが見いだされた。この触媒をベースに水添熱可塑性エラストマー（商品名「タフテック」）の生産が開始された。

## 考察

事例⑩は偶然の退色現象を見逃さず、解析したことが功を奏した。事例⑪の化学反応で目的物質と違う新規物質が得られた例は、過去にはしばしば報告されている<sup>22</sup>。事例⑬はポリエチレン用としては不合格の触媒を捨てずに解析したことが発見につながった。

### (4) ユニークな実験条件からのセレンディピティ

最新の科学・技術知識に基づいてまず実験を行い、その実験結果を加味して新たに着想して実験を進めていく研究手法はリーズナブルであり、王道である。このアプローチで課題を達成できればハッピーである。

ところがリーズナブルなアプローチであるところまではうまくいくのだが、壁にぶつかりそれ以上研究が進まないことがしばしばある。こういう場合は、リーズナブルな実験だけでなく、その枠を超えた実験が求められる。

こういう中で、ユニークな実験からブレイクスルーをした例が4つある。量論比でない条件で変性剤を反応させた末端変性溶液重合SBR (⑬)、最初の研究テーマでは副生成物の多かった超高濃度触媒を次の研究テーマに生かしたヘテロポリ酸触媒 (⑭)、粉末状態で強引に重合した非ホスゲン法ポリカーボネート (⑮)、学生時代の知見をもちこんだ白血球除去フィルター (⑯) である。

### ⑬ 末端変性溶液重合SBR (末端変性S-SBR)

通常、活性なポリマー末端 (SBR-Li) と等モルの変性剤 (XRY) を使用し、末端に官

<sup>22</sup> 「セレンディピティ——思いがけない発見・発明のドラマ——」安藤喬志訳 化学同人 1993年

能基を持った末端変性S-SBR (SBR-RY) が合成される。



ある研究者が等モル以外の条件で反応させたところ、これまでにない優れた物性が見いだされた。それが発展して、旭化成の研究グループは2005年に「シリカ配合用溶液重合SBRの開発」で日本ゴム協会賞を受賞した。官能基付加・カップリング法が特徴である。

かつて、カーボンブラック配合のタイヤでは、転がり抵抗（燃費）とウエットグリップ（制動）はトレードオフの関係にあり、同時に改良することは難しいと考えられていた（図12）。ところが、フランスのミシュラン社はカーボンの代わりにシリカを使ったシリカタイヤを開発し、カーボンブラック配合より優れた特性を出した。それまで、シリカを使うとコンパウンドの粘度が高くなり、加工困難であったが、ミシュラン社はシリカと反応するシランカップリング剤を用いてシリカの凝集を防ぎ、分散性を改善した。

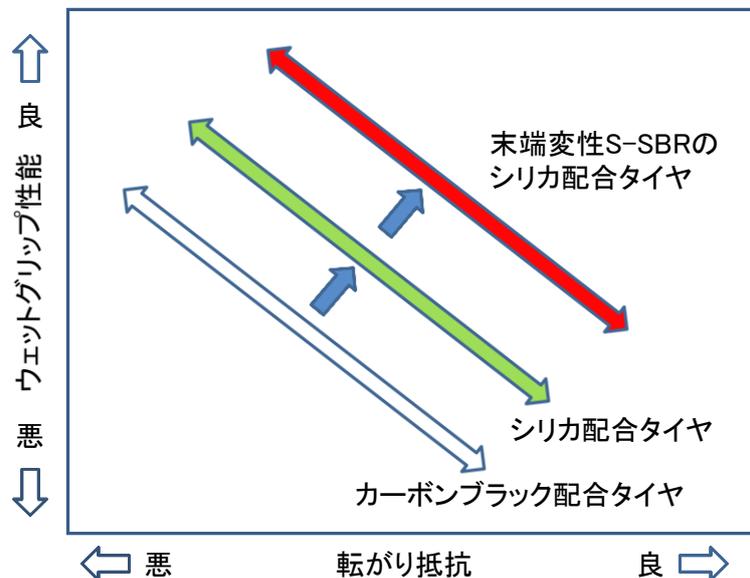


図12 タイヤの転がり抵抗（燃費）とウエットグリップ性（制動性）の関係（イメージ）

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

さらに、末端変性S-SBRをシリカ配合に使用すると、S-SBRの末端官能基とシリカが反応してシリカがナノ分散する。その結果、転がり抵抗（燃費）とウエットグリップ（制動）性能が大きく向上した（図12）。

これらの革新技术により、タイヤ用ゴムに使用される合成ゴム、補強充填材、加硫剤、混練方法は一変した（図13）。

（従来技術）		（新技术）	
・ゴム	乳化重合SBR	→	溶液重合SBR(S-SBR)
		→	<b>末端変性S-SBR</b>
・補強充填材	カーボンブラック	→	シリカ
・加硫剤	硫黄	→	シランカップリング剤と硫黄
・混練方法	単純混練	→	反応混練

図13 一変したタイヤ用ゴムの配合、混練、加硫

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

この末端変性S-SBRは、元々は日本の合成ゴムメーカーがカーボンブラック配合用に開発したものである。開発品は世界にPRされたが、販売はおもわしくなかった。

その後、ミシュランがシリカタイヤを開発し、ヨーロッパのタイヤメーカーがシリカタイヤ用に日本の末端変性S-SBRが適していることに注目し、注文がくるようになった。このように、偶然の幸運な出会い（セレンディピティ）により、末端変性S-SBRは表舞台に登場したのである。

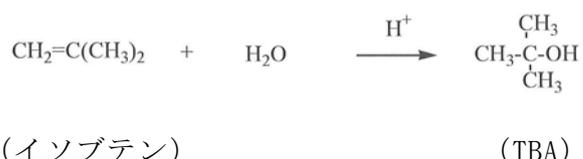
そして、日本の末端変性S-SBRはシリカ配合用にブラッシュアップされ、世界中で使用されることになった。そして、2013～17年にかけて旭化成、JSR、日本ゼオン、住友化学の4社が、ブタジエンが入手可能な東南アジアに相次いで進出した<sup>23</sup>。

現在のS-SBRの生産能力は旭化成（国内14万トン＋シンガポール10万トン）、JSR（国内5万トン＋タイ10万トン）、日本ゼオン（国内5.5万トン＋シンガポール6万～8万トン）、住友化学（国内1万トン＋シンガポール4万トン）と、国内と海外が同じくらいの生産規模になっている。これは、日本の石油化学にとって例外的、かつ画期的なことである。

<sup>23</sup> ARCレポート：<https://www.asahi-kasei.co.jp/arc/service/pdf/985.pdf>、  
<https://www.asahi-kasei.co.jp/arc/service/pdf/989.pdf>

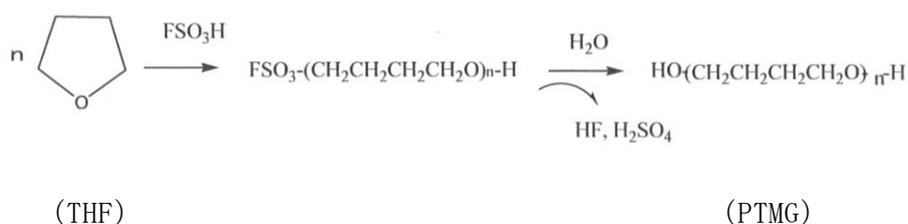
#### ⑭ ヘテロポリ酸触媒

ヘテロポリ酸は結晶水を含む複合酸化物である（一例： $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 29H_2O$ ）。ある研究者がヘテロポリ酸触媒を使い、ブテン類の中からイソブテンを選択的に水和してt-ブタノール（TBA）を定量的に得ることに成功し、工業化した。TBAはメタクリ酸メチル（MMA）製造の主原料である。



この研究ではヘテロポリ酸濃度を幅広く変えて、選択率が約100%になるヘテロポリ酸の最適濃度を見いだしている。この実験の中で、濃度を極端に高くしていくと（水分を徹底的に減らして、結晶水も飛ばしていくと）、一部ヘテロポリ酸が析出する。そして、反応速度が急速に高まるとともに、イソブテンが2量化するなどの副反応が顕著に増加する現象に遭遇した。

この研究者は、その後テトラヒドロフラン（THF）を重合してポリテラメチレングリコール（PTMG）<sup>24</sup>をつくる研究に取り組むことになった。先行技術は超強酸のフルオロスルホン酸触媒を用い、加水分解で両末端水酸基のPTMGをつくるというものであった。



ヘテロポリ酸はそれほど強い酸触媒ではないので、当時はTHFの開環重合はできないと考えられていた。

研究者はt-ブタノール合成研究時に、超高濃度のヘテロポリ酸は結晶水を放出するとイソブテンとの相互作用が強くなり、反応速度が上がることを知っていた。このことから、超高濃度ヘテロポリ酸を使えばTHFの開環重合ができるとひらめき実験を試みた。

<sup>24</sup> PTMGはスパンデックス（弾性繊維）の原料の一つである。もう一つの原料のジイソシアネートと反応させるために、PTMGの両末端は水酸基でなければならない。

実験は成功し、直接末端が水酸基でしかも分子量分布のシャープな望ましいPTMGが一挙に得られた。これは、思いがけない発見・発明であった。



さらに、触媒相はTHF相と混ざらないため、触媒の分離とリサイクルが可能なプロセスとなった。

安全性に懸念のあるフルオロスルホン酸触媒を使用する従来技術（DuPontプロセス）に比べ、グリーンでスマートなPTMGプロセスが工業化された。

### ⑮ 非ホスゲン法ポリカーボネート（非ホスゲン法PC）

非ホスゲン法でポリカーボネート（PC）を製造する方法として、ホスゲンの代わりにジフェニルカーボネート（DPC）を使用する方法は古くから知られていた（図14）。しかし、この方法は、生成重合体の粘度がきわめて高くなるため高温で重合しなければならず、結果として品質が劣り、スケールアップが困難なため工業化は成功しなかった。

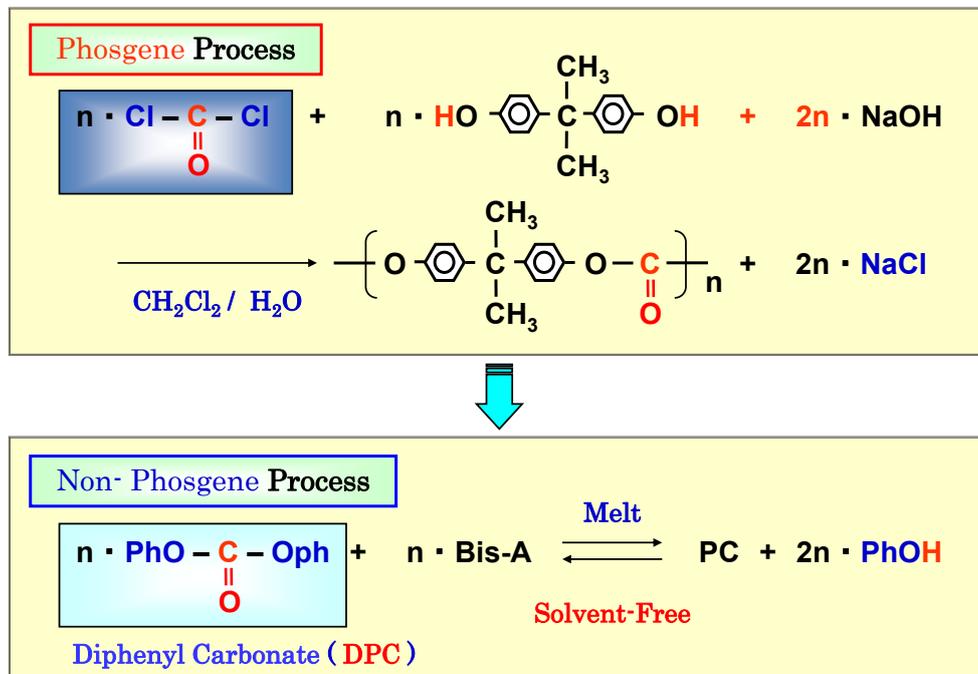


図14 ホスゲン法PCから非ホスゲン法PCへの転換

出典：旭化成作成。

非ホスゲン法PCの研究を始めるに当たり、DPCとビスフェノールAの反応をまず追試することになった（旭化成は本研究開発の前はPCのメーカーではなかった）。

その時、ポリマー専攻ではなく有機合成専攻の若い研究者がこの反応をガラスフラスコでなく、スチール製のオートクレーブを使用し実験した。オートクレーブを加熱・攪拌し、系内を真空にして副生フェノールを除去した。ところが温度が十分に上がらなかったため、重合が進むにつれて重合溶融物（メルト）の粘度は急激に上昇し、攪拌が困難になったが、その研究者は重合溶融物が固化した後も攪拌して反応を継続した。

低分子量の固化物はもろいため、攪拌により粉碎されて塊や粉状になり、反応後の塊や粉は不透明であった。このような重合条件は有効とは思われなかったが、分子量を測定してみると予想外に重合度がアップしていることがわかった。ポリマーの専門家はこの現象について相談を受けた際に、固相重合反応が起こっているのではないかとアドバイスした。固相重合は結晶性ポリマーの重合法の一つであり、結晶融点以下でガラス転移温度以上の温度範囲で重合を行うものである。

（参考：ガラス転移温度<固相重合温度<結晶融点<溶融重合温度）。

PCは非晶性ポリマーの代表であり、固相重合は考えられないところであった。ところが、結晶化しやすい低分子量状態で長く加熱されたために結晶化が起り、固体状態で重合が進んだのであった。これは世界初のPCの固相重合法の発見であり、ベンチスケールの技術が確立された。PCメーカーの人から、専門家であるPCメーカーではとても思いつかない技術であるといわれた。

その後、固相重合の知見を利用して、より画期的な溶融重合法が開発された。これもセレンディピティによる発明であるが、説明は割愛する。

ホスゲンを使用しないモノマーからポリマーまでの一貫プロセスが、2002年に台湾で合弁会社（旭美化成）により工業化された。この技術は台湾、ロシア、韓国（2社）、サウジアラビア、中国（2016年）にライセンスされ、合計生産能力は年産約90万トンに達した。非ホスゲン法PCの世界標準プロセスになった<sup>25</sup>。

---

<sup>25</sup> GSC 入門、JACI、[http://www.jaci.or.jp/gscn/img/page\\_19/gsc\\_guide\\_no2.pdf](http://www.jaci.or.jp/gscn/img/page_19/gsc_guide_no2.pdf)

## ⑩ 白血球除去フィルター

通常、血液中から副作用のある白血球を除去した残りを成分輸血される。旭化成は白血球と赤血球を分離するフィルター（商品名「セパセル」）を製造していた。白血球はフィルターに付着し、赤血球はフィルターを通過する原理を使う（図15）。

しかしながら、同時に有用な血小板もフィルターに付着してしまう。フィルターへの付着力は、血小板≫白血球>赤血球の順番であり、白血球をフィルターに付着させて血小板と赤血球を通過させることは原理的に難しいと考えられていた。何度か研究が試みられたがすべて失敗であった。

博士課程を卒業したばかりの研究者がこの難しい技術課題に挑戦した。彼は大学時代の知見を利用してフィルターに特定の荷電を与えるというアイデアを出し、血小板のフィルターへの付着を選択的に減少させることに成功した（フィルターと血小板が電気的に反発する）。血小板を80%以上回収しながら、白血球を99.99%以下に減少させることができた。そして上司と、製品に仕上げた。現在の白血球除去率は99.999%である。

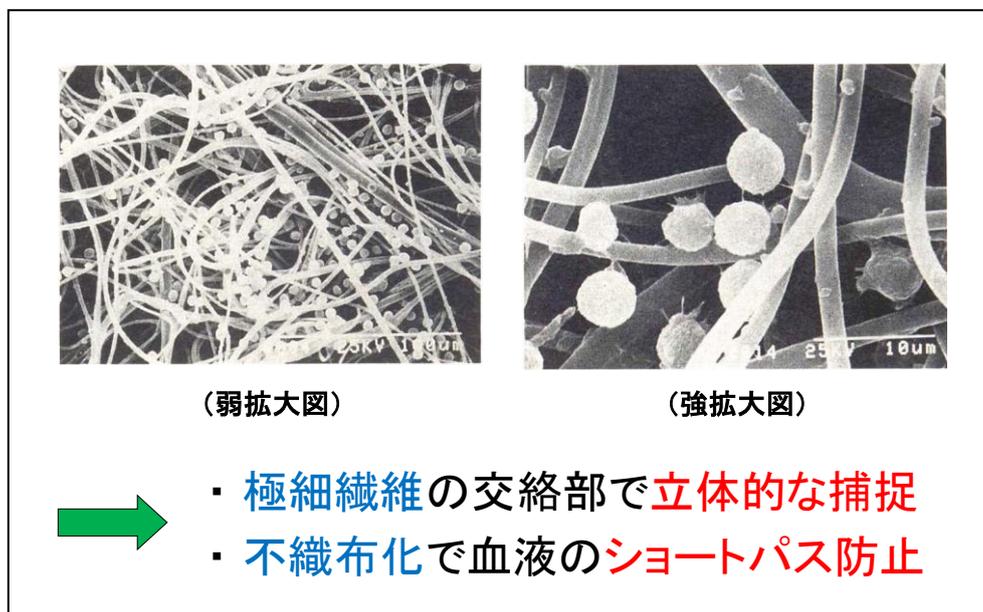


図15 極細繊維不織布に捕捉された白血球

出典：旭メディカル。

## 考察

ユニークな研究はなかなかやらせてもらえなかったり<sup>26</sup>、本命の実験でないので結果の解析や測定が不十分になりやすい。しかし、既成概念にとらわれないユニークな考えを尊重し、ユニークな実験を奨める研究室の雰囲気は重要である。これには、

- イ. 研究チームにバックグラウンドの違う人を入れる、
- ロ. 定期的な新卒配属や人事ローテーションにより新鮮なアイデアを導入する、
- ハ. 複数の専攻を持ったT型人才、 $\pi$ 型人才を育成するなどの方策が有効である。

T型人才とは、縦の深い専門能力と横の幅広い分野の知識を持った人材であり、 $\pi$ 型人才とは縦の2つの深い専門能力を持ち、横の幅広い分野の知識を持った人材である。

### (5) 研究の主目的ではない関連実験からのセレンディピティ

研究の主目的ではない関連実験からセレンディピティに遭遇することもある。実験の主目的とは離れる実験なのでセレンディピティをあまり期待しないが、ここにもチャンスが待っている。

先行技術の解析中に新技術を発見したポリアセタールコポリマー (17) と重縮合反応 (18)、解析用サンプルの調製テクニックを応用したアラミドフィルム (19) である。

#### 17 ポリアセタールコポリマー

ポリアセタールコポリマー (以下コポリマー) の研究中に、ある物性について満足できるデータが得られなかったことから、ある研究者が基礎に戻って重合開始反応のメカニズムを解析することになった。

コポリマーはトリオキサソ (ホルマリンの環状3量体) にエチレンオキシド (EO) を数パーセント共重合してつくられる。カチオン重合で、触媒にはボロントリフルオリド-ジブチルエーテルなどが使用される。それまで、トリオキサソが分解してできたホ

<sup>26</sup> 優秀な研究者のジレンマ：優秀な研究者は科学・技術の造詣が深く、先端の研究開発ができる人である。しかしながら、必ずしも想定外の実験を自らするのは得意でなかったり、向いていなかったりする。というのも彼らは、自分の仮説やこれまでの経験や知見に自信がありすぎるからである。時には、彼らは自分の経験や確立した理論に固執することもある。彼らの実験が仮説に拘った狭い範囲にとどまるかもしれないし、部下にもその考えに従わせるかもしれない。

ルマリンとエチレンオキシド (EO) が反応してジオキソラン (DOXL) ができ、これがホルマリンと共重合していくというメカニズムが正しいと信じられていた。

ところが、その研究者が重合反応初期の中間生成物を綿密に分析したところ、新規化合物のTOCNとPOCDが系中に存在することを発見した。そして反応生成物濃度を経時的に測定し、トリオキサンのエチレンオキシド (EO) が直接反応しTOCNを生成し、その後TOCNからTOXPができ、さらにジオキソラン (DOXL) に転換することがわかった (図16、17)。

エチレンオキシド (EO) が消失して、TOXPとジオキソラン (DOXL) の濃度がピークになる頃に重合が開始される。重合反応に誘導時間があることもこれで説明がついた。なお、トリオキサンと2分子のエチレンオキシドからできたPOCDは重合反応には関係せず、最終的にはトリオキサンとエチレンオキシドに戻る。

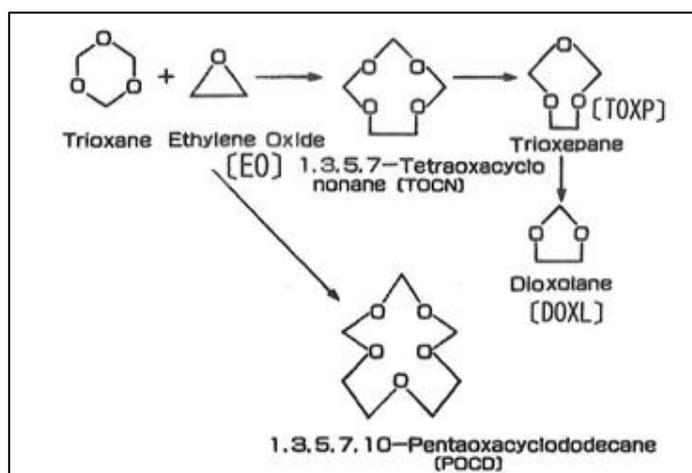


図16 トリオキサンとエチレンオキシド [EO] の共重合反応開始メカニズム

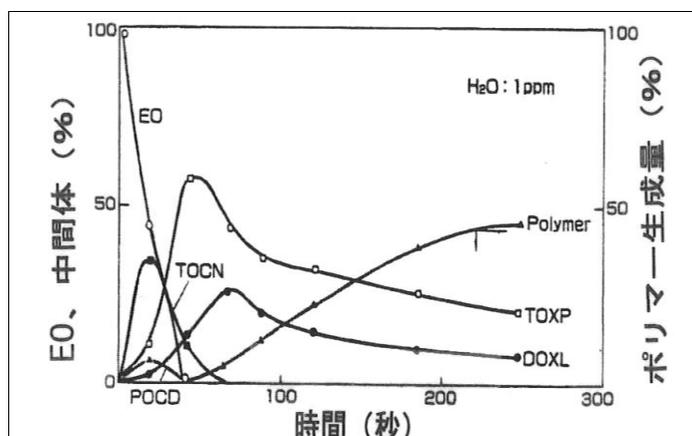


図17 エチレンオキシドと中間生成物の濃度時間的变化

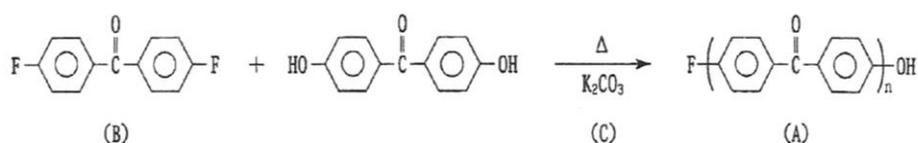
図16と17の出典: Ind. Eng. Chem. Res. 1995, 34 2515-2519を基に旭リサーチセンター作成。

また、水が1ppm、20ppm、100ppm存在するモデル実験から、水が重合反応の誘導時間を長くする効果があることも明らかにした。

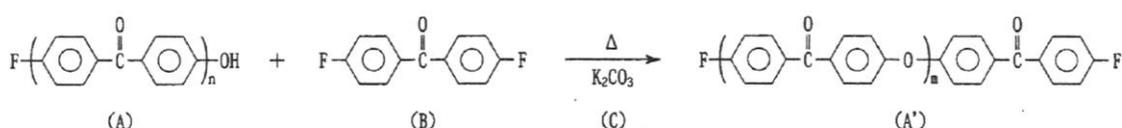
このように、研究者は重合開始反応の解析から思いがけずも2つの新規化合物を発見するとともに、定説を覆す新規なメカニズムを提案した。実用的には、「テナック」コポリマープラントの建設時に、この知見が重合器の設計に役立った。

## ⑬ 重縮合反応

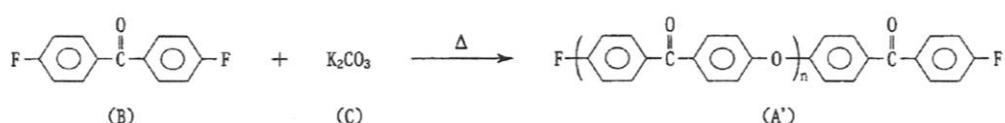
スーパーエンジニアリングプラスチックの芳香族ポリエーテルケトン (A) は重合終了時には末端に不安定なフェノール基を有している。



通常、重合体 (A) の安定性を高めるために、炭酸カリウム (C) 存在下にジフロロベンゾフェノン (B) と反応させて、安定なポリエーテルケトン (A') にする。



ある研究者が、この末端安定化法の反応を行うと分子量がいつも低下することに気づいた。彼は、ユニークな方法でこの原因を追究した。すなわち、末端安定化反応に使用するA、B、Cの3つの物質の2つ (A+B、A+C、B+C) を反応させたら何が起こるかを調べた。A+Bは反応せず、A+Cはポリマーがゲル化した。B+Cの反応では白い固体が得られた。この固体は溶媒に不溶で無機物かと思われたが、上司のアドバイスもあり、解析を続けたところ、思いがけないことに両末端が安定なフッ素基のポリエーテルケトン (A') であった。新規な合成方法が開発されたが、工業化には至らなかった。



## ⑱ アラミドフィルム

アラミドポリマーは濃硫酸中でリオトロピック液晶となり、その状態で紡糸すると極めて強いファイバーとなる。その研究中、重合時にポリマー分子量を測定する必要があった。若い研究者が赤外スペクトル（IR）で測定することを試みた。粘稠なポリマーの溶液を2つのガラスプレートの間にはさみ、そのプレートを水中に入れる。プレート間の硫酸は水中に拡散して除去され、ポリマーが析出する。しかしながら、析出ポリマーは不透明でIR光線を透過せず、IR測定は不可能であった。彼は透明なフィルムを得るべく様々な条件を探索し、ついに透明フィルムを得る条件としてある特定の硫酸濃度と高い温度の組み合わせを見いだした。

アラミドファイバーのプロジェクトが中止になった時、彼は上記の現象を使ってアラミドフィルムをつくったらどうかと考えた。液晶状態でフィルム状に押し出し、加熱して等方性にした後、凝固してフィルムを形成するというものである。濃硫酸溶液を使ってフィルムをつくるという苛酷な課題を克服して、パイロットレベルまで進んだが、事業化されなかった。

## 考察

ポリアセタールコポリマー（⑰）と重縮合反応（⑱）は先行の公知技術の解析の中から、新事実を発見したものである。前述のカミンスキー触媒（MAO）（⑦）も反応解析中にセレンディピティに遭遇している。非ホスゲン法ポリカーボネート（⑮）も先行技術の追試中にセレンディピティに遭遇している。これらのことは、意外にも追試実験や公知技術の解析からもセレンディピティが生まれることを示唆している。

### 3 セレンディピティ事例のキーワードによる解析

19の事例についてセレンディピティの観点から共通点を拾い出し、17のキーワード（共通点）を選んだ。結果を表1に示す。キーワードは本章（3章）では太字の「 」内に示す。

表1 セレンディピティ事例のキーワード解析

テーマ番号	計	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	
テーマ名		電子	SB	LIB	青色	質量	PA	MAO	透明	樹脂	スルホ	シジ	水添	変性	ヘテロ	ホリ	白血	POM	重縮	75
キーワード(No.)		コンパ	樹脂		LED	分析	白川		導電	発泡	ンPE	フPS	触媒	SBR	ホリ	カーボ	球F	コホリ	合	ミド
1. ひらめきとオープンイノベーション	5	○	○	○							○		○							
2. 実験の失敗や手抜き	7				○	○	○	○	○	○						○				
3. 全くの偶然	3										○	○	○							
4. ユニークな実験条件	5		○											○	○	○	○			
5. 主目的ではない関連実験	4														○			○	○	○
6. 水と酸素とインピュリティ	6			○				○	○	○					○			○		
7. 異常現象・データの解明	10				○		○	○	○	○	○	○	○			○			○	
8. 解析と測定	4					○								○				○		○
9. 試行錯誤・スクリーニング	5	○		○	○	○						○								
10. 技術融合	6	○		○		○	○				○							○		
11. プロフェッショナル	15	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
12. 異なるバックグラウンド	3		○														○	○		
13. アマチュア	5					○	○	○	○	○										
14. ねばりと執念	11	○		○	○	○	○	○				○		○		○		○		○
15. 研究初期	5		○					○								○		○	○	
16. プレカスルに挑戦時	10	○		○	○	○	○					○	○	○	○		○			
17. 研究中止の危機	3			○												○				○

出典：旭リサーチセンター作成。

注：キーワード名の一部とテーマ名は略称で記した。正式名称は本文参照。

(1) 事例の特徴を表すキーワードのNo. 1「ひらめきとオープンイノベーション」（対象件数、5件）、No. 2「実験の失敗や手抜き」（7件）、No. 3「全くの偶然」（3件）、No. 4「ユニークな実験条件」（5件）、No. 5「研究の主目的ではない関連実験」（4件）

これらはセレンディピティの事例の分類に使ったものである。2つのキーワードに関係する事例が5件（②、⑩、⑫、⑭、⑮）あり、延件数は24になった。

これらのキーワードは、意図的にセレンディピティを起こすこと（セレンディピティのチャンスを増やすこと）に役立つ。しかし、「実験の失敗や手抜き」を意図的にすることは安全上できない。ただし、水、酸素、インピュリティ、温度、濃度、モル比などを幅広い実験条件で実験することでその目的を達成できる可能性が高い。

また、「ひらめきとオープンイノベーション」は、11ページの考察に述べたように、今後重要になってくるものと思われる。既に、研究開発費が膨大な創薬については、ビッグデータやAI（人工知能）を利用した開発の取り組みが始まり、話題になっている<sup>27</sup>。

## (2) No. 6「水と酸素とインピュリティ」(6件)

水と酸素とインピュリティのコントロールは実験成功のための秘訣であり、セレンディピティの宝庫である。水（水分）と酸素（空気）とインピュリティは一般にはゼロにしたほうがいいが、ある一定量含むときに顕著な効果がある事例がある。いずれの場合も含有量を厳密にコントロールする必要がある<sup>28</sup>。

特に水のコントロールが重要で、地道な実験により思いがけない良い結果が得られ、技術課題がクリアできる場合が多い。

言うは易く、水と酸素とインピュリティのコントロールは地味な割にお金と手間がかかるのでやりたがらない人が多い。しかし、そこに宝が眠っていることを肝に銘じるべきである。有機ELやペロブスカイト系太陽電池の耐久性（寿命）を上げるために、水と酸素とインピュリティを極限まで減らす努力がされている。

## (3) NO. 7「異常現象・データの解明」(10件) と、No. 8「解析と測定」(4件)

実験で得られた「異常現象・データの解明」は大変重要である。異常現象・データをわからないからといって無視したり、失敗と決めつけてはいけない。

実験の重要性と異常現象・データの重要性を次の二人の著名な学者が述べている。

チーグラ博士の逝去直後にシンポジウムが開かれた。そこで、マックスプランク研究所の後継者のウィルケ博士は次のように講演した。“チーグラ博士の基本指針は、真に新しいものを予測することは不可能であり、それは実験によってのみ見つけることができる。……さらに予想外の発展についても目をつむることなく、新しい現象を主目的に関係ないといって無視しないというのも、チーグラ博士の指針の一つでした”<sup>22</sup>。

<sup>27</sup> ①「ビッグデータとAIによる創薬」：ngbr.com/img/file43.pdf、「創薬AIで50社連合 武田やNEC、新薬探し短縮」：http://www.nikkei.com/article/DGXLASGG15H28\_V11C16A1MM8000/

②「IBM Watsonを「10年/1000億円」の創薬に」  
techon.nikkeibp.co.jp/atcl/feature/15/012800017/022100003/?ST=health

<sup>28</sup> 実験の再現性が出ない場合や工場生産中に原因不明でスペックアウト品が出た場合には、まず、この3つがコントロールされているかをチェックすべきである。

有名な半導体研究者の教授がTVのインタビューに応じて発言された。“実験第一、実験がはじめてであり、理論はそれからついていくものだ。実験において異常データは非常に重要である。なぜなら、それは新知見、新発見のサインである。最近、学生は異常データを私に報告したがない。これは問題である。実験の失敗を指摘されるのではないかと考えて、報告しないで済ませてしまおうというのであろうが、それでは新発見のチャンスをミスミス見逃してしまうことになる”。

「異常現象・データの解明」には、科学技術のしっかりしたバックグラウンドを持ち、原因解明にこだわる優れた研究者が必要で、手段は解析や測定である。

また、「異常現象・データの解明」には関係しない事例においても、発見・発明をするためには「解析・測定」が必須である。したがって、とにかく気軽に解析・測定することと、解析・測定しやすい環境（設備や費用）を整えることが大切である。

#### (4) No.9「試行錯誤・スクリーニング」(5件)

先端の研究開発になればなるほど指導原理は存在しなくなり、試行錯誤やスクリーニングで最適なものを探すことになる。対象事例5件は、膨大な数の実験を重ね、その中でセレンディピティに遭遇した。

じゅうたん爆撃的スクリーニング法から、ロボテックスを使ったシステムチックなコンビナトリアルケミストリーの方法も使われ始めている。参考事例を2件紹介する。

(参考事例A コンビナトリアルケミストリー)

触媒研究分野ではいわゆるじゅうたん爆撃的スクリーニングがよく行われていたが、コンビナトリアルケミストリーのほうが良い触媒を見つけるにはシステムチックである。実際ある触媒研究者がコンビナトリアルケミストリー用と触媒評価用の独自のロボテックス・システムを開発し、これを使って組成の異なる4～6種の金属酸化物混合物の膨大な組み合わせの中から、スクリーニングによりアンモ酸化に好適な金属複合酸化物触媒を見いだした<sup>29</sup>。

(参考事例B ImPACT〈革新的研究開発推進プログラム〉の「セレンディピティの計画的創出による新価値創造」、プログラムマネジャー 合田 桂介 東大教授)

<sup>29</sup> 特許明細書記載の複合酸化物触媒の一例： $\text{Mo}_1\text{V}_{0.190}\text{Sb}_{0.200}\text{Nb}_{0.102}\text{W}_{0.03}\text{Ce}_{0.005}\text{O}_n$

研究開発プログラムの概要を以下に転載した。

“従来までのライフサイエンスでは「砂浜から一粒の砂金」のような幸運な発見（セレンディピティ）を、試行錯誤によって偶発的に探していた。そのため発見確率も非常に低く、発見までに長時間を要していた。本プログラムでは、セレンディピティを計画的に創出できる革新的な基盤技術を開発する。偶然を必然の発見にするために、先端光技術を基軸に異分野の知見や技術を融合することで、夢の細胞検索エンジン「セレンディピター」を作り出す。これにより1兆個以上の多種多群から、圧倒的性能を有する稀少細胞の超高速・超正確な探索が可能になる<sup>30</sup>”。

#### (5) No.10「技術融合」(6件)

「技術融合」は重要であり、そのために自らT型人才、π型人才を目指すとともに異分野の人と議論することが必要である。必要に応じて、異分野の研究者を集めた研究グループをつくる必要がある。そして、そのリーダーは複数の専門にある程度精通した人材が望まれる。

#### (6) 人財関係：No.11「プロフェッショナル」(15件)、No.12「異なるバックグラウンド」(3件)、No.13「アマチュア」(5件)

セレンディピティは人に深く関係している。人に関するキーワードとして「プロフェッショナル」、「異なるバックグラウンド」の人、「アマチュア」の3つを取り上げた。

「プロフェッショナル」は、ルイ パスツールが言う“チャンスを待ち構えている知性の持ち主”であり、異常現象・データを解明して発見・発明をすることができる優れた教授や優れた企業研究者である。あるいは、他の人の研究データにひらめいて自分の発見・発明につなげられる人である。サイエンスへの強い好奇心とサイエンスの力を持つ人ということもできる。

「異なるバックグラウンド」の人は、ユニークなアイデアで実験をする人である。違う分野の人が代表的であるが、既成概念や常識に固まっていない学生、企業であれば新入社員、違う職場からの転勤者などが考えられる。

「アマチュア」は学生、新人、違う分野からの転勤者などである。「アマチュア」も

<sup>30</sup> <http://www.jst.go.jp/impact/program/02.html>

既成概念や常識に染まっていないので（科学の基本から考えるので）、ユニークなアイデアで実験をする可能性が高い。

#### (7) No. 14 「ねばりと執念」(11件)

白川教授は研究で重要なのは“こだわり続けること”で、物質に興味を持ってトコトン研究対象にすることと言っている。赤崎教授は2011年にエジソン賞を受けたが、その紹介文に“あきらめない研究者（パーシステント・リサーチャー）と書かれた。赤崎教授は、「ここまでいけばいいんじゃないか」の声も聞こえたが、「ここがはじまりだ」と思い、研究を継続して青色発光LEDの開発に成功したと述懐している。

企業ではテーマをやり続けることは大学よりやさしくないが、今回の事例を見ると、サイエンス力と執念で成功した研究者が少なからずいる。これら研究者は事業や利益を生みだし、企業に貢献している。これら研究者を一言で言い表すのはむずかしいが、「ユニークで異能の人材」であり、また周りとは同質でない個性豊かな「出る杭」<sup>31</sup>人材である。ここでは、「出る杭」人材と呼ぶことにする。

企業としては、「出る杭」人材の採用、育成、処遇について配慮し、研究所などは「出る杭」人材が活躍しやすい場を用意することが重要である。「出る杭」人材は時として妥協せず意見を主張するので煙たがられるが、そこがブレイクスルーを生む源であることを理解し、温かく支援することが望まれる。

#### (8) No. 15～17はセレンディピティに遭遇した研究の時期に関するもの（合計18件）

セレンディピティはいろいろな研究開発の局面で起こる。No. 15「研究初期」（先行技術の追試など）にセレンディピティに遭遇した場合が5件、No. 16「ブレイクスルーに挑戦時」に遭遇した場合が多く10件、No. 17「研究中止の危機」の時に遭遇した場合が3件ある。「ブレイクスルーに挑戦時」や「研究中止の危機」は、研究の末期ということができるので、研究末期の事例の件数が13件と多いことになる。

一般にセレンディピティ型研究の成功確率は低く、通常のリーズナブルな研究の成功確率ははるかに高い。ただし、図18に示すように、研究の時間経過とともにリーズナ

<sup>31</sup> 第三次科学技術基本計画や「イノベーション25」で、出る杭人材の育成の方針が盛り込まれた。  
<https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/about/miraiseika/miraiseikafulltext.pdf>

ブル研究の成功確率は低下して、研究の壁にぶつかる。一方、セレンディピティの成功確率は変わらないので、研究末期にはセレンディピティの成功確率が相対的に高くなることが期待される。

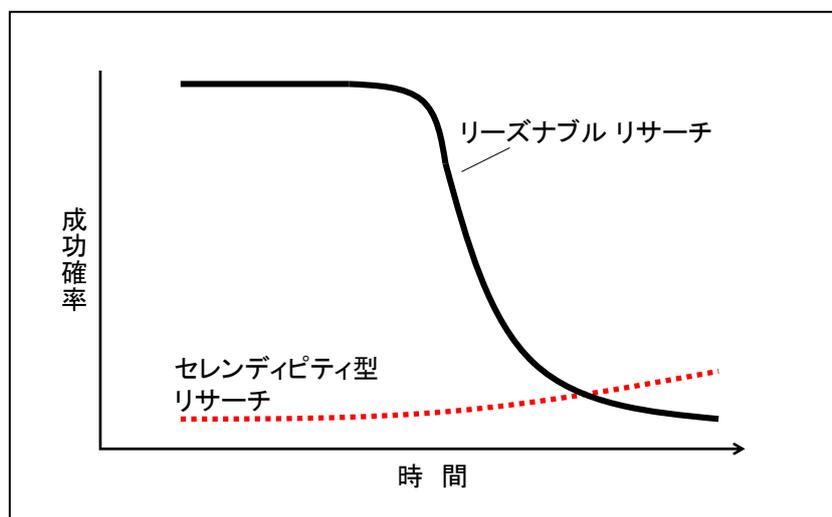


図18 リーズナブルリサーチとセレンディピティ型リサーチの成功確率の時間経過

出典：旭リサーチセンター作成のイメージ図。

#### (9) セレンディピティを実現するためのキーファクター（成功のカギ）

また、No. 1～5のキーワードに含まれる実験を「想定外の実験（実験条件や実験結果）」と定義した（図19）。これがセレンディピティを生む重要な要因（成功のカギ）である。

**想定外の実験（実験条件や実験結果）**

- (1) ひらめきとオープンバージョンによる実験
- (2) 失敗実験や手抜き実験
- (3) 全く偶然の実験結果
- (4) ユニークな条件での実験
- (5) 研究の主目的でない関連実験の結果

図19 想定外の実験（実験条件や実験結果）

出典：旭リサーチセンター作成。

また、セレンディピティを生むためには、才気（洞察力）が必要で、そのためにはプロフェッショナルが必要である。プロフェッショナルは、キーワードの「ひらめきとオープンイノベーション」「異常現象・データの解明」「技術融合」「ねばりと執念」の能力を持ち合わせた研究者である。

以上のことから、セレンディピティを実現するためのキーファクターは、“想定外の実験（実験条件や実験結果）”と“プロフェッショナル”の組み合わせと結論した（図20）。

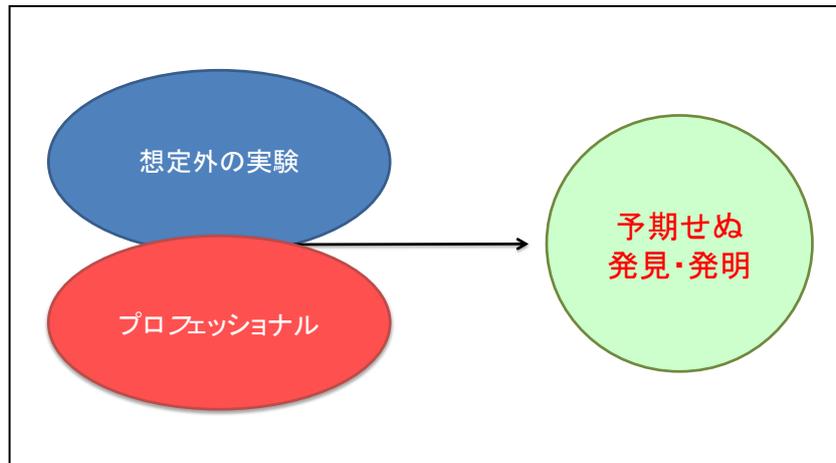


図20 セレンディピティのキーファクター（成功のカギ）

出典：旭リサーチセンター作成。

## 4 セレンディピティのチャンスを増やすための10か条

夢のような話だが、意図的にセレンディピティを起こすことができれば、研究開発の成功の確率は大いに高まる。キーワードを基に、表2にセレンディピティのチャンスを増やす10か条を作成した。これは研究を成功させるための10か条に通じる。

表中のカッコ内（ ）は、主に研究リーダーが考えるべきことを記した。

また、各条に関連するキーワードを付記した。

表2 セレンディピティのチャンスを増やすための10か条

1. 実験重視、実験第一を信条に、ユニークな考えや幅広い条件で実験をする。  
ユニークな考えを大事にする（新人、配転者、異分野人財の計画的配置）。  
\* 関連するキーワード：「実験の失敗や手抜き」「ユニークな実験条件」「水と酸素とインピュリティ」「異なるバックグラウンド」の人「アマチュア」
2. 水と酸素とインピュリティの影響を常に考え、コントロールする。  
（そのための必要設備を準備する）  
同様に、温度がコントロールされているかを常時チェックする。  
\* 関連するキーワード：「水と酸素とインピュリティ」
3. 異常現象・データに興味を持ち、見逃さない。原因をトコトン追究する。  
異常現象・データを報告したり、議論したりしやすい風土を醸成する。  
異常現象・データを見破るサイエンス力を養成する。  
\* 関連するキーワード：「異常現象・データの解明」
4. 解析と測定をまずしてみる。  
（解析や測定の費用を気にしないで、解析と測定ができる環境の整備）  
\* 関連するキーワード：「解析と測定」
5. 効率的な試行錯誤とスクリーニングを試みる。  
（コンビケム、ロボテック、AI、ビッグデータなどが活用できる環境整備）  
\* 関連するキーワード：「試行錯誤・スクリーニング」

6. ひらめきを働かせて、必要技術を社内外から取り込む（オープンイノベーション）。  
どこかで他人が自分のために実験していると考え、社内外の情報を探す（風通しの良い社内技術情報ネットワークの構築、ビッグデータやAIを活用した社外情報の入手システムの整備）。  
自分の研究と最新先端技術を強制的に結び付けて考え、最新先端技術を利用する。  
頻繁に起こるといわれる大学のセレンディピティ事例を活用する。  
\* 関連するキーワード：「ひらめきとオープンイノベーション」
7. 技術融合で技術課題を解決する。  
必要に応じて異分野メンバーからなる研究チームを新設する。  
若い研究者は異分野に興味を持ち、自らT型、π型人財になることを目指す。  
\* 関連するキーワード：「技術融合」
8. 若い研究者は「プロフェッショナル」になることを目指す。  
研究リーダーは、「出る杭」人財の採用、育成、処遇を心がける。  
\* 関連するキーワード：「プロフェッショナル」「異常現象・データの解明」、  
「ひらめきとオープンイノベーション」「ねばりと執念」「技術融合」
9. 成功すると信じてトコトンやってみる。テーマを継続し、成功に導く。  
上司はそれを辛抱強く見守る。  
\* 関連するキーワード：「ねばりと執念」
10. 実現したらすごい革新技术になるテーマに挑戦する。

出典：旭リサーチセンター作成。

## おわりに

今回取り上げたセレンディピティの事例の多くは、研究開発のブレイクスルーをもたらした。特に、事例③のリチウムイオンバッテリー（LIB）と事例④の青色発光LEDの二つの事例は、研究開発のブレイクスルーを超えてイノベーションをもたらした。LIBは二次電池の軽量化を実現して携帯機器の発展に大きく貢献し、また将来は電気自動車用に採用され、大きく発展することが予想されている。また、青色発光LEDは照明の革命をもたらした。これらは、生活を豊かにし、エネルギーを節約するなど、まさに社会を大きく変革したイノベーションである。

また、あらためて企業の事例を眺めてみると、セレンディピティはいつでも身近で起こりうること、また若い研究者がその主役になっている例が多いことに驚かされる。誰でもいつでもセレンディピティに遭遇するチャンスはあることを教えてくれる。

本レポートの事例と「セレンディピティのチャンスを増やすための10か条」が、研究者に少しでも役立てば幸いである。

<本リポートのキーワード>

セレンディピティ、研究開発、技術融合、実験の失敗、発見・発明、ブレイクスルー、イノベーション、人材の育成、出る杭人財、MOT

(注) 本リポートは、ARCのホームページ (<http://www.asahi-kasei.co.jp/arc/index.html>) から検索できる。

このリポートの担当

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

お問い合わせ先 03-3296-5056

E-mail [fukawa.id@om.asahi-kasei.co.jp](mailto:fukawa.id@om.asahi-kasei.co.jp)

株式会社 旭リサーチセンター

東京都千代田区神田神保町 1-105 神保町三井ビルディング

電話 (03) 3296-3095 (代)

E-mail : [arc@om.asahi-kasei.co.jp](mailto:arc@om.asahi-kasei.co.jp)