

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Machining

Vol. **21** A1  
Sep/2010

マシニング事業

■ 寄稿・論文・報文・解説

「開発とセレンディピティ」  
"Development and serendipity"

〈キーワード〉 セレンディピティ・研究開発・テーマの創出・  
密着性・ダイヤモンドコーティング

福井工業大学／機械工学科  
教授 神田 一隆  
Kazutaka KANDA

## 要 旨

新商品や新技術の開発は、何か新しいアイデアを取り入れて行なわなければならない。そのようなアイデアは他人の研究成果の見聞き、他人との交流、自分自身の研究内容の注意深い観察などの中から生まれるものであって、普段からそれらを取り込むような努力をしていなければ決して生まれてこない。そのような努力をしていれば、何かに遭遇した時に、新しいアイデアを出して対処できるということを説明するためには“セレンディピティ”という言葉が適している。セレンディピティは開発のいたるところに見られるのであるが、それを筆者が携わったダイヤモンドコーティング技術の開発およびスパッタコーティング装置の開発を通して紹介した。

## Abstract

New Ideas of some kind must be adopted in developing a new product or new technology. New ideas can be developed in the course of obtaining the information on others' research results, interacting with others and making a careful observation of own research. Thus new ideas can never be born unless the daily efforts are made to absorb such knowledge and information. Such efforts allow us to deal with any encounters with new ideas. “Serendipity” is an appropriate word to describe this situation. Serendipity can be seen every place where development takes place. Through the developments of diamond coating technology and sputter coating unit that this author worked on, serendipity will be touched upon in this article.

## 1. はじめに

※1  
セレンディピティという言葉に一体何かと思われる諸兄も多いであろう。実はかなり以前から開発や研究者の心構えとして説かれてきた有名な言葉であり、関連著書も多くある。筆者がこの言葉を最初に耳にしたのは、2004年ころのある研究会で話された京都大学名誉教授の小岩昌宏先生が書かれた著書<sup>1)</sup>に関する講演である。意味と語源を最短に要約して説明すると、「偶然と賢明さに助けられて、探していたものではないものを発見する能力」を、「セレンディップという小国の3人の王子が旅をして遭遇するでき事」を通して教えるおとぎ話に端を発している。まず脚注にある物語の要約を読んでいただきたい。セレンディップは現在のスリランカという説もある。また、語源や解釈は諸説あるようだが、いずれも多くの偉大な発明がこのセレンディピティと関係していると説明されている。

※2  
※3  
筆者はその講演会でセレンディピティの説明を語源から聞いたので深く印象に残っており、これまで学生達に研究者や技術者にはセレンディピティが重要であると教訓を述べてきた。しかし、よく考えてみると、君たちは偶然に期待して研究や開発を進めなさい、そうすると何かが見つかる、とっているようなものではないかと思うようになった。明らかに期待していたものではない発見をするのが我々の研究や開発の目的ではないはずである。三人の王子の物語は問題なく示唆に富んでおり、よくできている。しかし、その解釈がどこか間違っていないだろうかと思って考え直してみた。そして、「様々な経験をして、物事を注意深く観察し考察する努力をしていると、必要な時に役に立つ」という解釈の方が研究者や技



術者にはピッタリ当てはまり、物語の趣旨通りではないかと考えるようになった。ここでいう物事とは、自分の実験事実や他人の意見や研究成果がその例である。セレンディピティを本稿のテーマに付したのは、自らの開発の歴史を振り返ってみても、この言葉がうまく当てはまると思ったからである。

筆者は2008年にNACHIから福井工業大学へ移っており、これまでの開発の中で調べたいと思いながら手つかずになっていたダイヤモンドやダイヤモンド状カーボン(DLC)が低摩擦係数を示す要因の解

析を中心に研究を行なっているが、十分な成果を得ないまま今日に至っている。そこで、筆者が会社に在籍した時の開発の経緯を振り返りながら、セレンディピティと関連付けて紹介することにした。もちろん、筆者の場合、世間と比肩できる成果ではなく、セレンディピティとはいっても“他人の種で相撲をとる”に近い側面もあることをお断りしておく。

## 2. ダイヤモンドコーティング技術開発とセレンディピティ

### 1) 開発の背景

このテーマは筆者が1986年にNACHIへ入社したとき、最初に与えられた開発テーマである。従来、ダイヤモンドは高温高压下でしか合成できないというのが一般的な常識であったが、1981年に日本の研究者がメタンガスと水素ガスを使って減圧下でダイヤモンドを気相合成する技術<sup>2)</sup>を開発した。これを受けて、気相合成ダイヤモンドを応用するための研究開発が世界中で展開されはじめたという状況下であった。

切削工具が主力商品の一つである同社もこの技術に注目しており、物質中で最も硬いダイヤモンドを刃物の表面へコーティングすることで、従来にない

優れた特性を持つ切削工具が得られると期待されていた。もちろん、同業他社も異榻同夢ですでに活発に開発に取り組んでおり、切削工具分野以外にもデバイス関連の企業から石油やガス関連の業界までが興味を持ち開発に着手していた。残念ながら我々はスタートがやや遅れ、特許やコーティング技術開発で後塵を拝することになったが、後になってみると、技術開発に要する時間が短くて済み、我慢する期間が短くて済んだというありがたい側面もあった。

このテーマは物理系の研究に携わってきた筆者には馴染みのない領域であり、非常に高いバリアーに感じられたものである。また、開発部隊の周囲にダイヤモンドの気相合成に関する装置が無かったのもそれをより高く感じさせていた。

## 2) ダイヤモンド合成装置の壁

当時、ダイヤモンドの気相合成ができたと称する技術が5種類ほど開発されていた。その中にイオンガンを使って炭化水素イオンを加速し、ダイヤモンドを合成するというA大学の方法(後に分かったことであるが、この方法ではダイヤモンドは合成されない)があり、筆者が前の職場で学んだ技術に似た部分があったことから、早速手作りのイオンガンでダイヤモンド合成を開始した。しかし、半年ほど苦戦したが、顕微鏡下ではダイヤモンドの粒が見当たらず、ヤスリで傷がつくような柔らかい膜ばかりが得られていた。

そのうち、研究会の発表や文献を整理する中から、この方法ではダイヤモンド状カーボンはできてもダイヤモンドはできないことに気づき、従来の方法の中から日本で最初にダイヤモンドの合成に成功したことを写真付きで紹介した熱フィラメント法<sup>2)</sup>(図1参照)を真似て開発を再スタートした。当時は自分の研究費が無かったので、この方法は簡単な装置で実験ができるという現実的な側面もあった。

当初はありあわせの装置を使っていたので、基板加熱が難しいなど様々な制約があったが、熱フィラメント法はさすがに最初に発明された方法だけあって数10回の試作でシリコン基板上にダイヤモンドらしきものができるようになった。ダイヤモンドの同定には当時すでにラマン分光分析という手法が使われるようになっていたので、民間の分析機関へ送り、生成物の中にダイヤモンドがあることを確認してもらって、ようやく最初の壁を越えることができた。

その成果を受けて、研究テーマを立ち上げ、簡単な手作り装置ではあったが、ダイヤモンドコーティング専用の実験装置を作ることができ、以後実験が飛躍的に進むことになった。

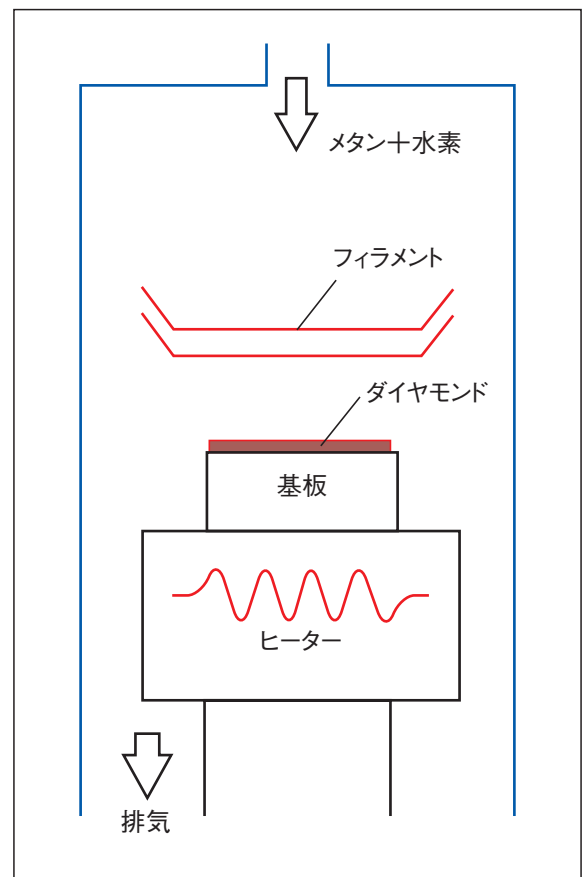


図1 初期の熱フィラメント法構成図

### 3) 密着性の壁1 – 中間層 –

ダイヤモンドが手軽に合成できるようになった後もずっと、筆者は切削工具にダイヤモンドをコーティングして使えるようにするのは無理と思っていた。それはダイヤモンドの熱膨張率が他の工具材料と大きく異なるという現実と、ダイヤモンドが他の材料と接合しにくいという思い込みからきていた。事実、シリコンとタングステンとモリブデン以外の基板にはダイヤモンドをコーティングしてもあえなく剥離してしまうばかりであった。

先にも述べたように、すでに多くの企業や研究機関がダイヤモンドコーティングの研究を開始していたので、後発の我々はその中から有望な技術を選んで試験することができる立場であった。当時、窒化チタンなどの硬質薄膜を物理蒸着する技術では膜の密着性を上げるために、膜と基板の間に両者と親和性が高い中間層を置くという方式が一般的であり、ダイヤモンドに関してもすでに多くの中間層に関する特許が出されていた。そこで、筆者もそれに従って工具用基板の表面にタングステンやシリコンをコーティングしてもらい、その上にダイヤモンドをコーティングした。膜は安定してできるようになったが、それを厚くするとやはり容易に剥離してしまうという状態が続いた。剥離面をよく調べてみると、ダイヤモンド膜と中間層の間で剥離しているわけではなく、中間層と工具材料の間で剥離が生じていることが分かった。その後もいくつかの試みを行なったが、中間層を使う技術はそれ以上の進歩はなかった。

### 4) 密着性の壁2 – 超合金の前処理 –

中間層を用いない方式では、B社が超合金(WC-Co合金)の表層のコバルトを酸処理で除去してからコーティングすると密着性が改善されるという技術を論文や特許で紹介していた。また、基板の表面をダイヤモンド粒で傷つけ処理すると、核と呼ばれるダイヤモンドの芽がコーティング初期から基板表面にたくさん生成されるという研究発表もあった。セレンディピティというよりまねごとに近いが、筆者はこれらの技術を早速いただいて改良を重ねた。さすがに密着性の改善は抜群で、これらの処理により、超合金基板上にはこれまでになくしっかりダイヤモンド膜が残るようになった。

このころ、ダイヤモンドコーティングのためにAさんが移籍され、一緒に開発することになった。彼は非常に仕事熱心で、深夜まで頑張って筆者が頼んだこと以外にも自分で工夫して様々な実験を行なっていき、どんどんデータが蓄積されていった。また、Aさんは体もよく動いたので、超合金製のインサートチップにダイヤモンドをコーティングして切削試験を開始することになった。最初は比較的切削が容易なADC12とよばれる鋳造用アルミニウム合金のドライ切削からスタートした。

Aさんより半年ほど遅れてBさんが配属された。彼もまた研究熱心で、そのころすでに製作してあった2台目のダイヤモンドコーティング装置の使い方を教えて渡すと、翌日から試験を開始した。

切削試験はどんどん進んでいったが、残念ながら数分で膜が剥離し、性能はいまいちという状態が続いていた。その中で、あるとき、Aさんがコーティングしたチップの中に、突然それまでの数倍も長持ちするものが現れた。非常に期待された結果であり、その要因をつかめば飛躍的な前進ができるのであるが、残念ながらさんざん調べたあげく、2度と同じ性能を得ることができなかった。

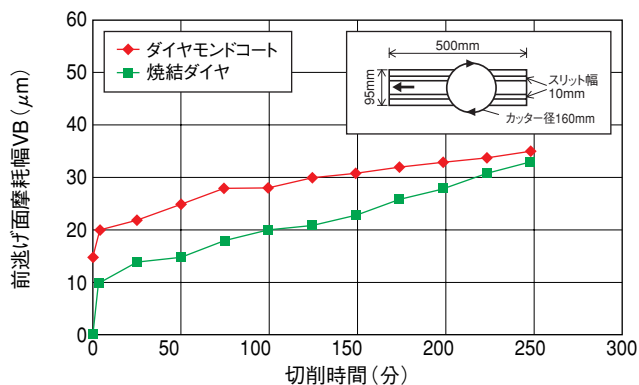
## 5) 密着性の壁3 - 炭化タングステンとダイヤモンド -

我々が苦戦している中で、B社はダイヤモンドコーティングチップの販売を開始<sup>3)</sup>したというニュースが入ってきた。また、ダイヤモンドコーティングではないが、ダイヤモンドの厚膜を作り、それをろう付けして切削工具にするというC社の発表<sup>4)</sup>もあった。このようなニュースには多少のあせりはあるものの、後発の我々には先があるのだという励みにもなり、先行各社の花火が自分たちの開発テーマを中断させられることがないだろうという意識にもつながっていた。

研究が少しずつ深まっていく中で、D大学が超硬合金とダイヤモンドの界面の写真を研究発表<sup>5)</sup>した。それを見ると、表層のコバルトを除去した状態で、ダイヤモンドは超硬合金中の炭化タングステン(WC)

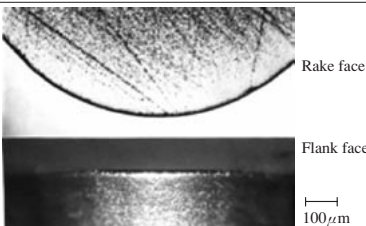
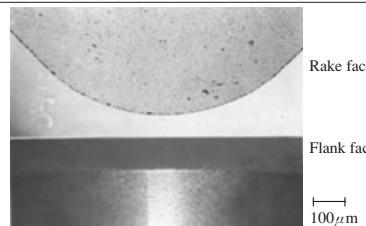
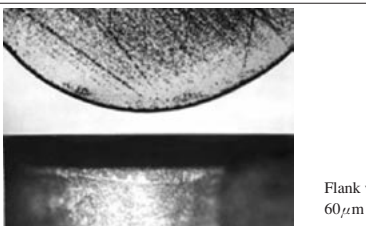
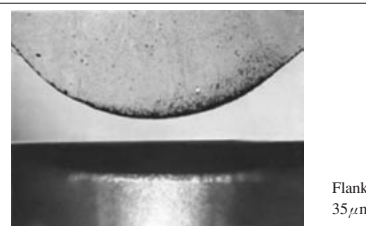
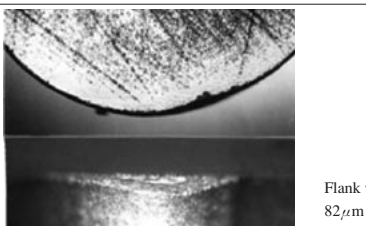
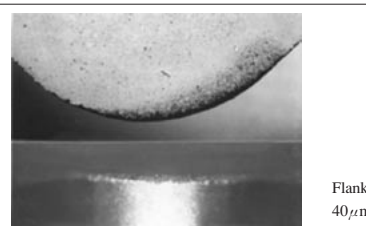
粒とよくくっついていて、これから、ダイヤモンドとWCは非常に相性がよいのだと理解するようになっていた。その後、Bさんが超硬合金から剥れたダイヤモンド膜の裏面にWC粒が付着しているという事実を見付けた。これによりWCとダイヤモンドの相性の良さを再確認することができ、その後のダイヤモンド膜の密着性改善へとつながっていったのである。そして、1990年にはインサートチップにコーティングして図2および図3に示すような実用レベルの切削性能が得られるようになった。

この前進も筆者一人のことではないが、セレンディピティの賜物といえるであろう。残念ながら、これから先の話は今でも企業秘密に属するので、扉は閉じたままにしておこう。



被削材 : A390 (Al-17%Si)    チップ型 : SPGN120308  
 切削速度 : 330m/min        刃数 : 1個  
 切込深さ : 0.5mm            切削油 : 乾式切削  
 送り速度 : 0.15mm/rev

図2 ダイヤコートチップと焼結ダイヤモンドチップのフライス切削試験結果

Cutting Time	Wear mode of diamond-coated insert	Cutting Time	Wear mode of PCD insert
0 min		0 min	
150 min		150 min	
250 min		250 min	

ダイヤモンドコートチップ

焼結ダイヤモンドチップ

図3 ダイヤコートチップと焼結ダイヤモンドチップの  
フライス切削試験による摩擦比較

## 6) 開発の裏話

我々のダイヤモンドコーティング技術が実用レベルに達したとき、研究会などで時々顔をあわせるE社の人とお互いに結果を公表しないことを前提にダイヤモンドコーティングチップを交換し、お互いの切削性能を比較したことがある。同社は超合金表面を水素プラズマで還元してからダイヤモンドをコーティングするという技術を開発していた。我々は自信を持って比較試験に臨んだのであるが、残念ながらE社の方が20~30%寿命が長いという結果であった。

しかし、同社の方法は技術的にはやや面倒であり、適用範囲が限定されることもあって、以後実用化されることがなかった。

インサートチップの他にドリルの性能が実用化のレベルに達した後、量産装置の製作に入ったが、生産能力は当時多く使われていた物理蒸着法と呼ばれる窒化チタン膜などをコーティングする装置の10分の1以下であった。量産装置といいながら、実験室規模の熱フィラメント法の装置を並べただけと揶揄されながらの船出であったが、結果的には現在でも世界に比肩できる生産容量を持っていると思っている。

## 3. コーティング装置の開発とセレンディピティ

### 1) 開発の背景

硬質薄膜をコーティングする物理蒸着法に興味を持っていた筆者には、膜の開発には装置からという思いがあった。

NACHIは1987年頃からイオンプレーティング装置<sup>6)</sup>を販売しており、この装置はTiNやTiCNのコーティングには抜群の性能を示していた。

しかし、蒸発源を1個しか持たないこの装置は、当時切削工具用薄膜として伸びつつあったTiAlNのような金属元素を複数含む多元素膜のコーティングには不向きであった。

そこで、筆者や同僚たちは多元素膜のコーティングができるような新たな装置を入手したいと思っていた。

### 2) 出会いとセレンディピティ

その頃、共同研究であったか別の形態であったか記憶が定かではないが、富山県工業技術センターのD氏および富山大学のE先生とコーティングに関する交流が始まっていた。当時D氏は一對の円板状のターゲットが向かいあう、対向ターゲット式マグネトロンスパッタ装置を使って、薄膜の研究をされていた。

その中で、同氏からスパッタリング現象ではじき出されたターゲット材料が、ターゲットの正面方向ではなく、図4のように斜め方向に多く飛び出し、しかも斜め方向へ飛び出す粒子の方のエネルギーが高

いので、良質な膜ができる、という話を聞いた。以下は話がやや専門的になってしまうのであるが、この話から筆者は図5のように2枚のターゲットの外側に被コーティング物を置く方式が量産装置に応用できるのではないかと考え、しばらくの間デザインを考えていた。しかしながら、現状の技術に比べると、量産性に限界があることと、ターゲットを装置の中央に置かなければならないという制約から、それ以上考えを進めることはできなかった。

その後、斜め方向にエネルギーの高い粒子が多く飛び出すという特性を活かすために、ターゲット同士を平行に対向させるのではなく、図6のように斜めに対向させる方式のターゲット配置を考案した。しかし、この配置では放電で生じるプラズマがターゲット付近に閉じ込められ、コーティングに必要な要素である基板電流すなわち基板へ入射するイオン電流が十分にとれない可能性があった。

そこで、このプラズマからイオン電流を引き出すため、F社のマグネトロンスパッタ装置に取り付けられていた電磁石を参考に、一對のターゲットの周囲に電磁石を配した。

さらに、筆者の基本的な考えであった「膜質の制御性の高い装置」を実現するため、ターゲット材料の蒸発量と基板へ入射するイオン電流の量を独立(完全に独立ではないが)に制御できるように、アノードと呼ばれる電極を置いた。



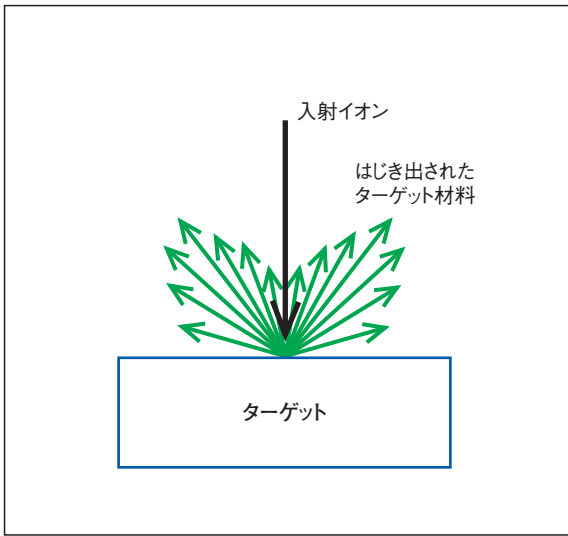


図4 スパッタ粒子数の角度分布

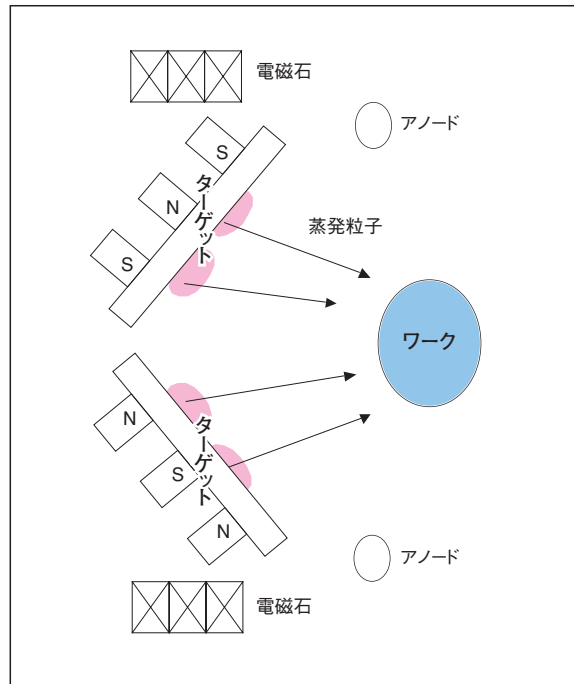


図6 傾斜対向式マグネトロンスパッタ装置の構成

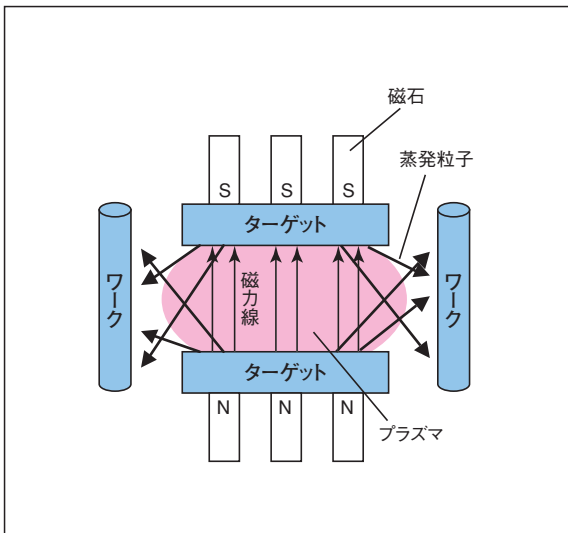


図5 対向ターゲット式マグネトロンスパッタ装置の構成

### 3) 開発の裏話

後に判明したことであるが、筆者が考案したターゲットを斜めに対向させて配置する方式の特許がすでにG社から出されていた。しかし、前述のように一对のターゲットの周りに磁石を配する点と、アノードを配する点が異なっており、その特許への抵触をまぬがれることができた。

この新しいコーティング装置(マグネトロンスパッタリング装置)の基本デザインが完成し、日頃からNACHIと付き合いのあった協力企業の方々の力をお借りして、試作機を完成した。また、筆者はまともな図面が書けないので、この完成にはCさんが尽力してくれた。

その後、実験装置として図7のような小型装置を発売し、社内的には図8のような大型装置の製作<sup>7)</sup>にもつながった。この開発においてもいくつかの出会いがあり、自画自賛ではあるがセレンディピティを心掛けていたためと思っている。



図7 傾斜対向式マグネトロンスパッタ装置



図8 量産用傾斜対向式マグネトロンスパッタ装置

## 4. おわりに

開発者にとっては、半年あるいは1年ごとにやってくる開発テーマの企画はかなり手ごわい作業である。セレンディピティの考え方からすると、これまでの人生で様々な成功を体験してきた上司や開発の先輩たちは、このような時にその分だけ大きな能力を発揮しなければならないのである。しかし、最近はどうもすると、新規テーマの企画を若い人たちに任せるといった傾向がないだろうか。これは、先輩たちが自分たちには新しいテーマを創出する力はありませんと宣言しているようなもので、管理者としては別であるが、開発責任者として失格ではなからうか。時代背景は多少異なるものの、筆者が30~40歳代のころには開発テーマは上の方からどんどん降ってきて、それを消化するのに手一杯であった。先輩たちはセレンディピティを実践していたと思われる。

筆者が会社に在籍していたとき大学や研究機関と多くの共同研究をさせていただいた。それで大きな成果があったかと問われると苦しいところであるが、それらの共同研究を通して多くのことを学ばせていただいたことは確かである。また、研究会や講演会に参加し、多くの研究者との出会い、意見を交換したことが自分の栄養になっていたと思っている。これらの出会いがセレンディピティにつながっていると思われる。

筆者は時々セレンディピティの大切さを学生に教えている。その中で、彼らには、自動車や携帯電話から筆記用具に至るまですべての工業製品には先人たちに膨大な知恵が込められているので、その考え方や作り方をしっかり学びなさいとっている。もっと具体的に何をしたらいいのか分かるように説明してほしいといわれると難しいのであるが、筆者の心に深く印象付けられているでき事があった。

それは筆者が若いころに出会ったある大企業の開発責任者が、どこかの学会の講演会で数名の部下たちに、この講演会を聞いて特許案でも開発テーマ案でもいいから4つ以上探すこと、と指示していたことである。そして自分はもう2つ考えたよ、ともいっていた。筆者も以後それを念頭において、学会や研究会に参加してきたつもりである。

開発は一朝一夕に完成するものではないので、セレンディピティを求めて日頃から努力することが大切である。そのためには多くの出会いが必要であり、同業界の人を含めて多くの仲間が必要である。開発者みずから、あるいは開発責任者はそのような環境を作るよう努力することが成功の秘訣ではなからうか。

## 用語解説

### ※1 セレンディピティ

という言葉は、イギリスの政治家で小説家のホレス・ウォルポール (Horace Walpole) が1754年に生み出した造語で、「セレンディップの3人の王子」というおとぎ話に因んでいる。

### ※2 「セレンディップの3人の王子」(小岩昌宏訳)の抄訳

昔々、ずっと遠くの東方に、立派な王様が治めるSerendippoという国がありました。王様には3人の王子があり、偉い学者を招いて教育した甲斐あって、賢く育ちました。王様は3人の王子が一人前に育ったところで、他国でもっと経験を積み、知識を磨いてこいと送りだしました。

母国を離れBeramoという王様が治める国についた3人は、自分が飼っているらくだの行方が分からなくなったと探している男に会いました。「そのらくだは、片目で」、「歯が一本抜けており」、「足を一本怪我しているのではありませんか?」と3人の王子が口々にたずねました。そんなによく知っているなら、お前たちが盗んだにちがいない、とその男に訴えられて、王子たちは牢屋へ入れられてしまいました。ところがまもなく、らくだが家へ戻ってきたので、男は王様に話して3人を牢から出してもらいました。

「見たこともないらくだの様子がどうして分かったのか?」とたずねる王様に3人の王子は次々に答えました。「旅の途中で、片側の草がよく茂っており、反対側がそうでもないのに草を食べた跡があったので、片眼のらくだだと思いました」、「道には草の切れ端が散らばっており、ちょうど欠けた歯のすき間ほどの大きさだったのです」、「はっきりした足跡は3つ足分で、足をひきずったあとが目立ちました」。

王様は3人の王子の賢さと注意深さに感じ入り、客人として手厚くもてなしました。

### ※3 ノーベルによるダイナマイトの発明、レントゲンによるX線の発明、キュリー夫妻によるラジウムの発見、フレミングによるペニシリンの発見、江崎玲於奈によるトンネルダイオードの発見、田中耕一による高分子質量分析法の発見、白川英樹による導電性高分子発見等々がセレンディピティの例としてあげられる。

## 参考文献

- 1) 小岩昌宏著：金属学プロムナード-セレンディピティを追って  
アグネ技術センター 2004年12月出版。
- 2) S.Matsumoto, Y.Sato, M.Kamo and N.Setaka  
：Jpn. J. Appl. Phys.,21 (1982) L183.
- 3) 菊池則文、吉村寛範  
：NEW DIAMOND, Vol.3, No.3 (1987) p.26-31.
- 4) 奥住文徳：NEW DIAMOND, Vol.3, No.1 (1987) p.32-33.
- 5) 松原秀彰：NEW DIAMOND, Vol.6, No.1 (1990) p.9-15.
- 6) 松波浩二、松倉則昭、杉沢 尋  
：不二越技報、Vol.52, No.1 (1996) p.62-66.
- 7) 須貝賢一、松波浩二、橋本孝信  
：NACHI-BUSINESS news, Vol.8 B2 (2005) p.1-7.