

平成 21 年 9 月修了  
博士（学術）学位論文

（和文題目） 照明産業におけるフィールド

エミッションランプの事業化

—日本型技術ベンチャーの経営実践—

（英文題目） Commercialization of Field Emission

Lamps as the New Green Lighting

-A Case of Japanese Style Management of Technology-Oriented  
Start-up-

平成 21 年 9 月 30 日  
高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻（起業家コース）

学籍番号 1046004

平木 博久

Hirohisa Hiraki

## 論文目次

<b>第1章 序論</b> . . . . .	<b>5</b>
1-1. 研究の背景と目的 . . . . .	5
1-2. 論文の構成 . . . . .	7
<b>第2章 先行研究レビュー</b> . . . . .	<b>9</b>
2-1. 技術経営の視点からのベンチャーの位置づけ . . . . .	9
2-2. ベンチャー経営論 . . . . .	11
2-3. まとめ . . . . .	19
<b>第3章 研究の枠組み</b> . . . . .	<b>21</b>
3-1. リサーチ・クエスション . . . . .	21
3-2. 研究方法 . . . . .	22
3-3. 研究枠組み . . . . .	22
<b>第4章 照明産業における新事業機会の考察</b> . . . . .	<b>24</b>
4-1. 照明産業の歴史と現状 . . . . .	24
4-2. グリーン・ライトの必要性 . . . . .	25
4-3. 照明産業の市場調査 . . . . .	29
4-3-1. 照明産業を支える各種光源／照明の原理・特長とその用途 . . . . .	29
4-3-2. 照明市場の規模・動向 . . . . .	38
4-3-2-1. 特殊光源 . . . . .	38
4-3-2-2. 一般照明 . . . . .	44
4-4. フィールドエミッションランプ (FEL) による事業機会の考察 . . . . .	48
4-5. まとめ . . . . .	53
<b>第5章 米国型 Jカーブ型ベンチャー経営実践その1. 技術開発</b> . . . . .	<b>54</b>
5-1. 基本方針 . . . . .	54
5-2. FEL のポジショニング分析 . . . . .	54
5-3. ターゲット分野 . . . . .	56
5-4. 競合光源の動向予測 . . . . .	57
5-5. Jカーブ型技術戦略策定 . . . . .	57
<b>第6章 米国型 Jカーブ型ベンチャー経営実践その2. 事業実践</b> . . . . .	<b>60</b>
6-1. ダイアライトジャパン株式会社の設立 . . . . .	60

6-2.	事業運営	62
6-3.	倒産へ至る経過	62
<b>第7章</b>	<b>米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践その3. 考察</b>	<b>67</b>
7-1.	ベンチャー倒産要因の考察と整理	67
7-2.	PIRI社との比較検討	74
7-3.	米国型Jカーブ型ベンチャー成長の環境条件	76
7-4.	ハネロン社との比較検討	76
7-5.	日本型サステナブル型ベンチャーの可能性	78
<b>第8章</b>	<b>日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その1. 技術戦略</b>	<b>79</b>
8-1.	基本方針	79
8-2.	FELのポジショニング分析、販売価格帯	79
8-3.	ターゲット分野	82
8-4.	競合光源の動向予測	86
8-5.	サステナブル型技術戦略策定	86
<b>第9章</b>	<b>日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その2. 事業実践</b>	<b>90</b>
9-1.	新会社の経営環境分析	90
9-2.	新会社の組織戦略・外部機関との連携	91
9-3.	起業実践と協力者の獲得	95
<b>第10章</b>	<b>日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その3. 考察</b>	<b>96</b>
10-1.	協力者獲得の成功要因	96
10-2.	日本の経営環境とサステナブル型ベンチャーの可能性	97
<b>第11章</b>	<b>結論と今後の課題</b>	<b>98</b>
<b>附録</b>	<b>FELの技術的優位性と課題</b>	<b>100</b>
A-1.	はじめに	100
A-2.	今後の照明産業で期待されるグリーンライティングの候補『FEL』	100
A-3.	FELの基礎研究(エミッタの高性能化を目指した研究)	102
A-4.	FELの開発実践(FELの生産技術)	115
A-5.	まとめ	128

謝辞	129
引用文献	131
業績リスト	133

## 第1章 序論

### 1-1. 研究の背景と目的

1990年代以降、日本の製造業の不振と低迷は、必ずしも払拭しきれないで続いている。「失われた10年」といわれた不振の原因の一つは、日本の製造業がいわゆるプロセス・イノベーションに偏向しており、プロダクト・イノベーションで大きく後れをとってしまったことにあると指摘された。即ち、インターネットの普及によって急速にグローバル化が進んだ1990年以降の産業界において、中国をはじめとした新興国の台頭によって、生産の拠点はこうした新興国にシフトし、先進国の生産工場は日本のみならずとも空洞化の方向へと向かった中で、プロセス・イノベーションだけでは後進国との競争に生き残っていけないという状況となっているのである。先進国が、現在のグローバル市場において競争優位性を維持・獲得していくには、もはや生産現場でのプロセス・イノベーションだけでは不十分であり、新製品の提案によって新規市場を開拓するプロダクト・イノベーションを志向していく必要があると考えられる。

そうしたプロダクト・イノベーションを創発していくには、基礎技術から応用開発、商品化、事業化へと「死の谷」を越えて突き進んでいく社会的なメカニズムが必要である。1990年代に経済復興を果たした米国が確立したのは、大学での基礎研究を、大学発ベンチャーが応用開発・商品化・事業化し、成功したベンチャーをM&Aによって買収・吸収することによって大企業が事業を拡大していくという、社会全体でのプロダクト・イノベーションを支えるスキームであった。これはまた、バイドール法による知的資産保護とベンチャー支援への法的整備、また多くの開発投資を要するベンチャーの事業開拓へ投資するベンチャーキャピタル(VC)やエンジェルの存在、あるいは国民的な年金などの投資運用という背景、VCによるハンズオンやシリコンバレーなどにみられる起業ネットワークなどによるベンチャー支援、またベンチャーを興す起業家の輩出に関しても、小さいときからのビジネス志向教育、職の移動度、フロンティア精神の発揚など、様々な文化的・社会的背景・要因が折り重なって、そうしたスキームが支えられているのである。

こうした視点から、ベンチャー特に技術ベンチャーが、産業の振興全体に果たす役割は非常に大きく、とりわけ製造業の不振が指摘されている日本においては、重要なものといえるのである。しかし、今日の日本の状況を見ると、以下に示すように、ベンチャーないし技術ベンチャーは必ずしもそうした責務を担えるほどの発達を遂げているとは言い難い。

日本でのベンチャー企業の起業率は1.2% (2002年) で世界最低である。<sup>1-1)</sup> しかも日米におけるベンチャー企業の開業率の比較(図1-1)からわかるように、日本のベンチャー企業はアメリカに比べて非常に低迷している。

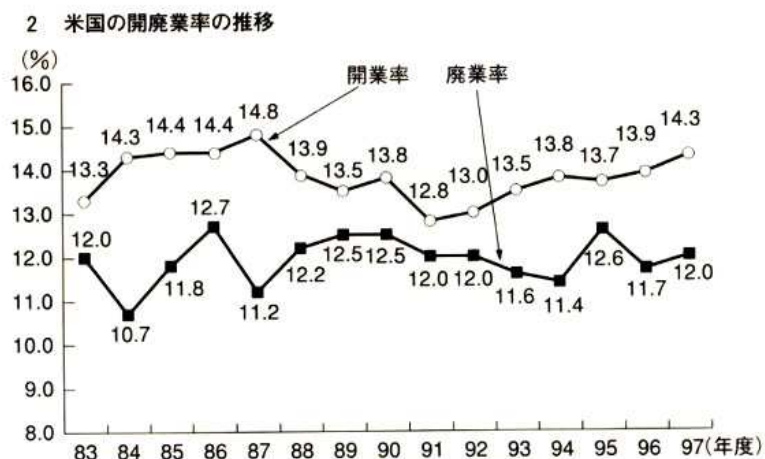
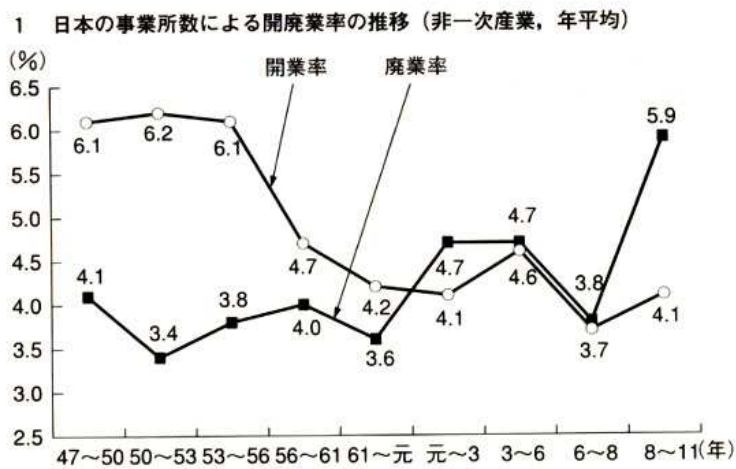


図 1-1. 日・米におけるベンチャー企業の開廃業率の比較（出所：『中小企業白書平成 13 年版』）

こうした日本におけるベンチャーないし技術ベンチャーの低迷の原因を解き明かし、より興隆へと向かうための方策や指針を得ることは、極めて重要かつ喫緊の課題である。

実は、こうした問題意識を有する著者自身も照明産業におけるフィールドエミッションランプ (FEL) の起業実践を経験した。FEL 技術は、従来の白熱電球や蛍光灯に比較して省エネルギー化が図れるため、今後の全地球的なエコ対策の枠組みの中で、新しい照明技術として注目され市場獲得する可能性がある技術である。著者の起業実践はベンチャーキャピタルなどから 10 億円の投資をとりつけ、開発・事業活動を行なったが、起業から約 6

年で倒産した。

日本の産業不振・製造業不振を打破するには、新規事業創出が重要であり、それを担うのは技術ベンチャーであると言われ続けているが、私のそのような事例を含め、現実には思うようにいっていない。

そこで、著者自身の実践経験も含め、そうしたベンチャー不振の原因を分析し、そこからみえてくる課題を克服する新たな経営指針を明らかにする、さらにはその指針に基づく第2の起業実践を行い、自らその妥当性を実践・検証していく、そうした活動と分析が必要と考えた。

このような分析は、過去の事例の取材や調査によっても行うことができるが、他人の起業実践事例では、どうしても細部にわたる情報や様々な暗黙知的な知識を得ることは難しい。自ら起業実践し、その事例を自ら分析することが、ある意味で最も核心に迫る分析につながるのではないかと考えるのである。

こうしたベンチャー経営論の視点から、著者自身の2度にわたる技術ベンチャー実践事例および過去のベンチャー実践事例を調査・比較分析することで、日本における技術ベンチャーのもつ経営的課題とその克服法を考察することが、本研究の目的である。

## 1-2. 論文の構成

本論文は、日本におけるベンチャー企業の低迷が現在の日本の産業不振・製造業不振のひとつの原因となっているのではないかとの問題提起から始まり、その問題を克服する解としての著者自身の起業実践事例を提示するものである。そして、こうして起業実践した技術ベンチャーの直面した問題を経営学的な視点から解析し、過去の成功事例との比較なども活用することで、日本における技術ベンチャー全般のもつ経営的課題やその克服法について考察するものである。各章の概要と全体の構成は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景となる日本におけるベンチャー企業の低迷を踏まえた本研究の目的と意義について述べる。

第2章では、技術ベンチャーの産業界での位置付けと、ベンチャー経営論に関する先行研究についてレビューする。

第3章では、研究の枠組みについて述べる。

第4章では、本研究の前提となる技術的な背景を説明するため、照明産業での新事業機会について述べる。

第5～7章では、著者の起業実践をもとに、米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践（技術開発・事業実践・考察）について述べる。

第8～10章では、同じく著者の第2の起業実践をもとに、日本型サステナブル型ベンチャ

一経営実践（技術開発・事業実践・考察）について述べる。

第 11 章では、本研究の結論と今後の課題について述べる。

また附録として、FEL の技術的優位性と課題について述べる。



## 第2章 先行研究レビュー

本章では、プロダクト・イノベーションを志向する先進国において、産業界の中でどのような役割を技術ベンチャーが果たすのか、またそうした技術ベンチャーの経営はどのように行っていくべきものなのか、過去の文献や著作をもとに先行研究のレビューを行なう。

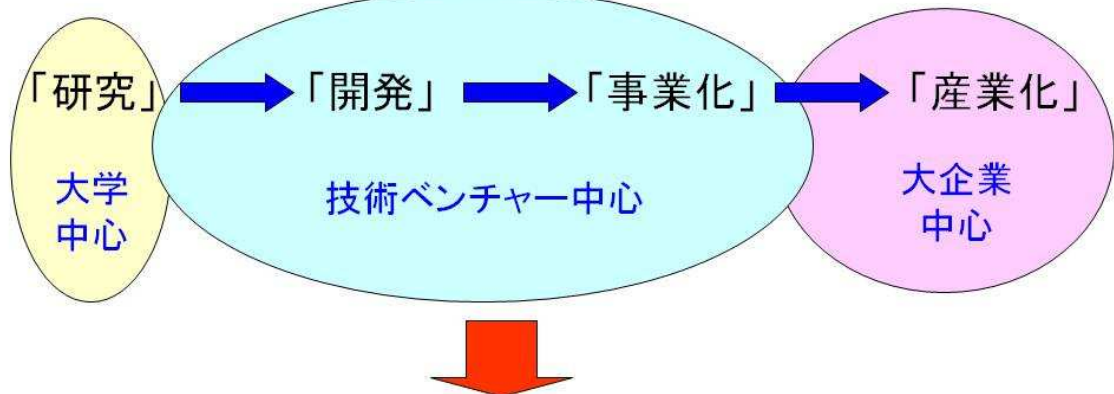
### 2-1. 技術経営の視点からの技術ベンチャーの位置づけ

序論で述べたように、製造業、特にハイテク分野での新規事業創出における技術ベンチャー企業の役割は非常に大きい。近代以降、特に20世紀前半から中期にかけて、産業の巨大化に伴い、「基礎研究」「応用研究」「製品開発」「製造」「販売」「流通」の各機能は専門化・肥大化する傾向にあった。これに対して、1980年代から米国では、基礎研究にかかる費用の巨大化により、各企業ではこれを賄いきれなくなり、基礎研究は国や軍からの支援をもとに大学で行なわれるようになっていった。また、応用研究についても、同じく米国では、大企業がリスクを冒して、これをすべて行なうよりも多くのベンチャー企業が開発を行ない、大企業はこうしたベンチャー企業に投資する形で技術開発を行なうといったコーポレート・ベンチャーの傾向が生まれてきた。あるいは、結果として成功したものについて大企業が会社ごと買い取るという企業買収をベースとした技術開発も盛んになってきた。製造についても、EMS(Electronics Manufacturing Service:受託電子部品製造業)のように、自社製品を持たず、多くのブランド・メーカーの製造下請けを一手に引き受け、量の経済効果によってコストダウンを図る企業も生まれてきた。このように「基礎研究」「応用研究」「製品開発」「製造」「販売」「流通」の各機能をすべて一企業内に取り込む(垂直統合)よりは、単一の機能のみに特化して分業化し水平展開することにより、巨大市場に適合しようとする動きが活発化している。<sup>2-1)</sup>

これらの分業化のなかでベンチャー企業の役割は、大学での研究成果を既存企業へ橋渡しすること、つまり大学での基礎研究成果と社会における実用化と普及との間にあるギャップを埋めることである。大学の研究の中には新産業創出のシーズになりうる成果があるが、通常、大企業などの既存企業は、このシーズの応用研究・実用化研究を行うリスクを冒す決断ができない。リスクを背負いそのギャップを埋めるのが技術ベンチャーであり、新規事業創出においてその役割が位置付けられることとなった。

## 研究の背景: 産業界における新規事業創出の流れ

事業創出を効率よく行なうために、提案されている分業モデル。



現実には多くの技術ベンチャーが失敗・倒産し

日本の産業不振・製造業不振のひとつの原因となっている

どうすればこの課題を克服できるのか？

図 2-1. 技術ベンチャーの位置付けと課題

このように新規事業創出において技術ベンチャーは重要な役割を担うため、ベンチャー企業が経営不振で倒産すると、研究シーズを事業化させる流れが途絶え、研究シーズは開花することなく消滅してしまう。これが、先に述べた日本におけるベンチャー企業の低迷が、現在の日本の産業不振・製造業不振のひとつの原因となっている。

こうした日本の抱えるベンチャーに関する構造的な問題は、著者らが事業実践したハイテク分野の技術ベンチャーの失敗からも、実感を持って認識される。著者は、大学発の研究シーズを事業化すべく起業をしたが、6年間の事業運営の後、倒産した。その結果、大学発の研究シーズは開花することなく眠った状態である。もし、著者らの技術ベンチャーが開発に成功し、量産を担う大企業などにバトンタッチできていれば、日本における有力な新規事業が立ち上がり、日本の不況を打破するきっかけになったかもしれないという自責の念に駆られる。

では、どうすればベンチャー企業、特にハイテク分野の技術ベンチャーが失敗・倒産などをせず、新規事業創出の一端を担うことができるのであろうか？

この問題について、次節にて、過去の先行研究をレビューし問題を整理する。

## 2-2. ベンチャー経営論

はじめに、ベンチャー企業にとっての基本的な経営論・経営戦略について先行研究をレビューし、いくつかの具体的な成功事例をもとにその意味を考えていきたい。

### (1) 起業家精神

柳在相はその著『ベンチャー企業の経営戦略』の中でベンチャー企業を以下の7つの本質で捉えている。<sup>2-2)</sup>

- ① 新しいビジネスを創造することを目的とすること。
- ② リスクに果敢に挑戦すること。
- ③ ビジネスについての信念と社会的存在意識を持ち、最後まであきらめないでチャレンジすること。
- ④ 企業として永続的に成長していくこと。
- ⑤ 組織学習による情動的資源の蓄積により創り上げた有効的な戦略で成長すること。
- ⑥ 斬新な戦略と素早い行動をとること。
- ⑦ 起業家精神があること。

柳は上記7つをベンチャー企業の本質として挙げているが、その中でも起業家精神が基本であると捉えている。即ち、「起業家の起業家精神によって、新しいビジネスが創造され、企業として成長していくプロセスでの多くの困難に果敢に挑戦することができ、学習プロセスを通じて情動的資源を蓄積し、斬新な戦略を大胆に実行することができ、社会的存在意義が永続する企業として発展していく。つまり、これらすべての活動が起業家によって、導き出され、実行に移されていくのである。」と述べている。

起業家精神の定義について多くの研究者議論がなされているが、シュンペーターによる起業家理論は、経済学・経営学の分野においても大きな影響力をもち、起業家や起業化精神に対しての研究の中心的存在である。シュンペーターは「イノベーターとしての起業家」を主張し、経済発展の担い手としての起業家および起業家職能に注目し、このような起業家は革新を遂行することによって、成熟した経済構造を変革し、均衡を打破していくものであると位置づけた。シュンペーターは、生産とは生産要素の結合を行うことであるという視点に立って、「革新はこの生産要素を新しいやり方で結合するか、または新結合を遂行することにある。」と定義づけた。このような新しい生産手段の結合方法を積極的に取り入れることによって、成熟化した経済に刺激を与え、均衡を打破していこうとするところに変革の本質があり、変革はまさしく「創造的破壊の過程」であると特徴づけた。そして、変革の遂行のプロセスにおいて創造的破壊という役割を果たすことができる個人こそが、起業家として位置づけられるのであるとシュンペーターは定義されている。

上記のように、起業家精神はベンチャー企業を起業し成長させていくために不可欠であ

ることを改めて認識できたが、日本でのベンチャー企業の実態からすると、起業家精神はベンチャー企業にとって必要条件ではあるが、決して必要十分条件ではないことがわかる。このことに関しては、柳をはじめ多くの研究者が指摘している。

## (2) ベンチャー企業の経営戦略

柳は、更にベンチャー経営の基本的な考え方について以下のように述べている。

「技術革新の進展、グローバル化のさらなる拡大、規制緩和の進行、消費者の嗜好の激しい変化、通信・情報技術の急激な進歩による社会環境の変化など、企業をとりまく経営環境はますますその不透明さを増している。こうした状況下では、戦略なき企業はとうてい生き残ることができない。換言すれば、企業が長期的に存続するためには、急変する環境に有効に適応しなければならない。その鍵になるのが、経営戦略である。つまり、企業が急変する環境に有効に適応し、長期的存続を成し遂げるためには、なによりも経営戦略が必要なのである。さらに、注意しなければならないのは、経営戦略の優劣が企業の業績格差、ひいては企業の長期的生存に大いに影響を与えているということである。とりわけ、経営資源の少ないベンチャー企業が、今日のような熾烈な競争の中で、既存の企業と同じ戦略や平凡な戦略をとるだけでは、長期的に生存していくことは大変難しいことである。ベンチャー企業には、既存の企業とはまったく異質の経営戦略、既存の考え方や枠組みを超越した戦略的発想や画期的な経営戦略など、高度なレベルでの経営戦略が必要とされるのである。」<sup>2-2)</sup>

柳のいう「戦略」とは、どのようなことを指すのか、このことを理解するために、米国のネットスケープ・コミュニケーションズ社の成功事例について、概観してみたい。

ネットスケープ・コミュニケーションズ社は、1994年4月に設立され、インターネットの閲覧ソフトで世界のデファクト・スタンダードを獲得することによって、設立してからわずか15ヵ月後の1995年7月にNASDAQに公開を果たした、いわゆるJカーブ型成長を成し遂げた世界的企業である。

ネットスケープ・コミュニケーションズ社の成功をもたらしたのは、以下の経営戦略にあったと言われている。

- 高い評価を受けていた閲覧ソフトを有料販売ではなく、ユーザーに無料配付することで一気にシェアを拡大し、世界の標準規格を獲得することに成功した。
- 独占的な地位を築くために、ソフト開発をしていた技術者12名中11人のスカウトに成功した。
- 獲得した圧倒的なシェアをベースに、バージョンアップや派生ソフトなどを独占し、高い収益が得られる仕組みを創り出した。
- 創業者であるジム・クラーク会長と共同創業者のマーク・アンドリーセン氏を技術開発部門に専念させるために、CEO、CFOをはじめ販売やマーケティングの専門家を経営

陣の中に登用し、強力なマネージメント・チームを作り上げた。

ネットスケープ・コミュニケーションズ社をはじめ、野村総合研究所の調査によると、米国におけるベンチャー企業の経営はつぎのように特徴づけることができる。<sup>2-3)</sup>

- ① 株式価値の最大化が経営目標となっており、報酬も資金調達もすべてが株価に連動する仕組みになっている。
- ② 独占の戦略ということで、高成長を達成するために、ダントツの1位を目指すという、明確な事業ビジョンをもっている。
- ③ この独占の戦略を実現するには、そのタスクに最もふさわしい経営者や中核従業員を集めたプロフェッショナル組織を作らなければならない。タスクが変わればマネージメントも変わる。
- ④ また、ベンチャー・キャピタルが経営者のスカウトなど、ほとんどのケースで極めて立ち入った、積極的な役割を果たしている。

この報告書に対し、柳は「アメリカのベンチャー企業の多くは、株式価値の最大化という明確な経営目標を達成するために、高い経営能力をもったプロの頭脳集団によって、マーケットでの1位を目指すという高度な戦略が展開されていることを示唆している。」と述べている。

米国では、ベンチャー企業の株式に対する要求投資収益率は、年率で35%前後であり、ベンチャー・キャピタルは35%以上のリターンが期待できるベンチャー企業にのみ、投資を行なう。つまり、株式投資収益率35%はベンチャー企業における資金調達の基準になるわけで、35%を上回ることができるように、しっかりとした事業計画の作成、非常に高いレベルでの経営知識、他社の追従を許さない強い競争優位を確保できる戦略計画、そしてこれらの戦略を実行するための組織および仕組みなどが求められている。

このようなベンチャー企業に関しての上記のような枠組みがあることが、開発成功時における産業的インパクトが大きく、大きな事業利益と大きな事業規模への発展性が期待できるハイリスク・ハイリターンのJカーブ型ベンチャー経営を目指すベンチャー企業が米国で、多く生まれるゆえんであるといえる。また、このことが米国産業を牽引する、ソフトウェア、電子部品、情報通信などの分野、あるいは今後が期待されるバイオ分野でベンチャー企業が重要な役割を担っている原因になっているといえる。

### (3) ベンチャー企業の資金調達

次に、ハイテク分野でも特にハイリスク・ハイリターンといわれるバイオ分野での大成功を収めたアムジェン(Amgen)社について紹介し、こうしたいわゆる「Jカーブ型」米国ベンチャー経営における資金調達の重要性について示す。<sup>2-4)</sup>

アムジェン社は、表 2-1 に示すように 1997 年時点での NASDAQ に公開する企業におけるバイオ分野での時価総額が 1 位のベンチャー企業である。

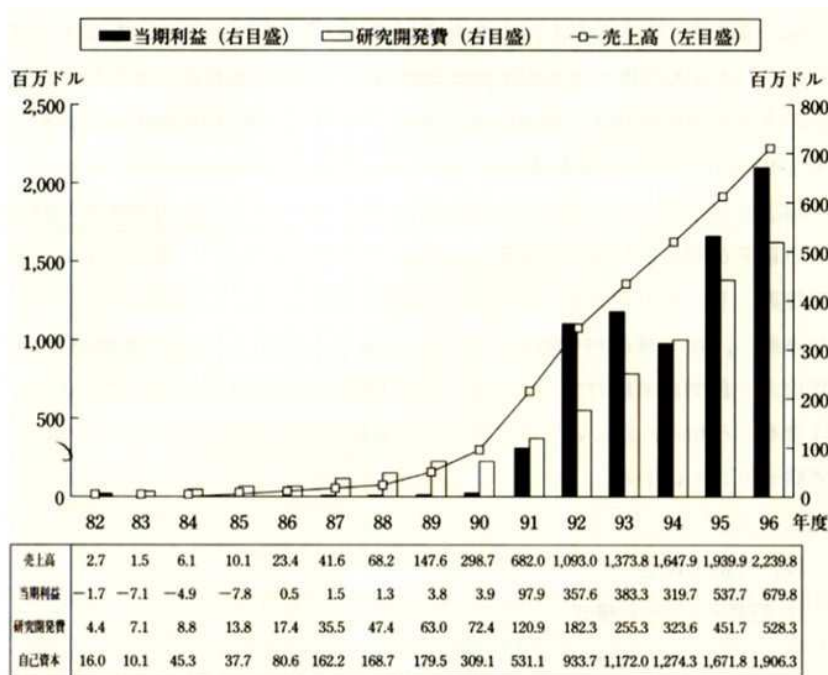
表 2-1. NASDAQ に公開されているバイオ企業の時価総額ランキング

(百万ドル)		
会社名	国	時価総額
Amgen Inc.	米国	13,834
Centocor, Inc.	"	3,653
Chiron Corp.	"	3,285
BioChem Pharma Inc.	カナダ	2,768
Genzyme Corp.	米国	2,711
Immunex Corp.	"	2,685
Biogen, Inc.	"	2,549
Agouron Pharmaceuticals, Inc.	"	1,334
British Bio-tech Grp Plc. - ADR	英国	1,184
Gilead Sciences, Inc.	米国	1,099

注：時価総額は 1997 年 11 月 7 日現在。  
出所：FactSet Universal Screen より作成。

しかし、アムジェン社は、今でこそバイオ新薬のトップ企業であるが、第 1 号の新薬開発まで 8 年、その投資資金は 2 億ドルという巨額の研究開発費をかけて今日の栄光をつかんだ。アムジェン社は 1980 年 4 月にベンチャー・キャピタル主導によって設立され、同年 10 月にバイオ分野の権威ジョージ・B. ラスマン博士が CEO に就任、バイオ新薬の研究、開発、そして販売を目的に事業を開始した。

アムジェン社は、ラスマン博士の人脈などで超一流の科学者を揃え、バイオ新薬の研究開発に注力したのはもちろんだが、創業段階から資金調達、マーケティング、販売方法など経営全般にわたってバランスの取れた経営戦略を立て、実行した。そして、第 1 号の新薬「EPOGEN」、第 2 号の新薬「NEUPOGEN」の開発に成功し、96 年度では売上高 22 億 3,900 万ドル、従業員 4,646 名を誇る大企業に成長したが、図 2-2 に示すように事業が成功するまでにじつに長い年月および多額な研究費用を要した。



注：当社は91年度まで3月決算であるが、92年度以降は12月決算に変更している。  
 数字は87年度までは12月決算に換算した数字を用いている。  
 出所：Annual Report 各年号より作成。

図 2-2. アムジェン社の業績推移

アムジェン社の成功のポイントとして、以下の点が挙げられる。

- ① 設立時からベンチャーキャピタルが参画し、超一流の科学者をメンバーに揃えたこと。
- ② 多額の R&D 費投入を創業以来続けられたこと。
- ③ 創業以来赤字続きのなかで R&D 費を賄えたこと。

超一流の科学者を揃えて高度な研究開発をする戦略をとったことは素晴らしいが、特筆すべきは②、③であろう。

アムジェン社創業以降の資金調達の推移を表 2-2 に示す。

表 2-2. アムジェン社創業以降の資金調達の推移

基礎技術確立期	1980年	40 万ドル	設立資金
	1981年	1,890 万ドル	ベンチャー・キャピタルなどからの資金調達
	1983年	4,000 万ドル	NASDAQ 新規公開による資本市場からの調達
研究部門充実期	1984年	1,200 万ドル	キリンビールからの研究開発資金の受け入れ
	1985年	4,200 万ドル	NASDAQ からの資金調達
臨床部門充実期 と販売準備期	1986年	300 万ドル	〃
	1987年	7,800 万ドル	〃
	1988年	2,700 万ドル	〃
バイオ新薬販売拡大期	1989.4~1990.12	1 億 2,300 万ドル	〃
	1991.4~1991.12	1 億 2,400 万ドル	〃

出所：Annual Report 各年号より作成。

アムジェン社はマネージメントチームが中心となり、ベンチャー・キャピタルや NASDAQ などから研究段階に応じてタイムリーに資金調達している。これら資金調達の裏にはベンチャー・キャピタリストや NASDAQ の投資家が、研究開発の各段階で自己責任のもと自ら判断し投資するシステムが米国には存在していることが挙げられる。このように、ハイリスク・ハイリターン of Jカーブ型ベンチャー企業を育てるには、技術評価のできるベンチャー・キャピタルや NASDAQ のようなベンチャー市場といった直接金融を中心とした資金の出し手がなくては成立しにくいことが示唆される。

#### (4) 市場開拓 (技術戦略)

ジェフリー・ムーア著『キャズム』<sup>2-5)</sup> は、米国における、特にハイテク分野での Jカーブ型ベンチャー企業の市場開拓戦略について詳細な解析をしたことで知られるので、以下にその論説の骨子を述べよう。キャズム理論は、新たなテクノロジーに基づく革新的な製品が市場に受け入れられていくプロセスを製品ライフサイクルの進行にともなって顧客層がどのように変遷するかという観点からとらえたものである。

そもそも、革新的な製品がどのように顧客に受け入れられ、普及するかについて製品購入者の分類分析したのは E・M・ロジャースである。ロジャースによると、購入のタイミングによる購入者の推移はほぼ正規分布に近い形となるという。彼はこのうち、最初の 2.5% をイノベーター (革新的採用者)、つぎの 13.5% をアーリー・アダプター (初期採用者)、つぎの 34% をアーリー・マジョリティー (前期多数採用者)、半分以降の 34% をレイト・マジョリティー (後期多数採用者)、残り 16% をラガーズと定義している。そして、E・M・ロジャースは、イノベーターはリスクをいとわず、新しい技術を試すことに熱心であるが、他へのユーザーへの影響は小さく、アーリーアダプターは他のユーザーへの影響が最も大きいと定義している。新製品が市場に広く知られるのは、世帯普及率が 10% が超えた段階であり、ブームと呼ばれる成長期は普及率が 10~35% の急激な普及時期を指している。

キャズム理論は前述のように E・M・ロジャースと同様に革新的な製品が市場に受け入れられていくプロセスを製品ライフサイクルの進行にともなって顧客層がどのように変遷するかという観点からとらえているが、ロジャースが議論していない、隣り合うそれぞれの顧客グループとのあいだにクラックが存在することを明言している。

これは、隣り合う顧客グループのあいだに不連続な関係が生じたことを意味し、ある顧客グループに対して、その左に位置する顧客グループに対するのと同じ方法で製品が提示された場合には、まったく効果を発揮しないということである。

ムーアは隣り合うそれぞれの顧客グループとのあいだのクラックの中で、アーリー・アダプターとアーリー・マジョリティーの間の深く大きな溝 (キャズム) は越えるのがもっ



とも難しい溝であり、ハイテク分野の多くの技術ベンチャー企業が落ち込む溝があることを述べている。キャズムに落ち込む理由を、アーリー・アダプターとアーリー・マジョリティーとの革新的な製品に対する価値基準の違いから説明をしている。『キャズム』によるとアーリー・アダプターが購入しようとするのは、改革のための手段であり、同業他社に先んじて自社に変革をもたらす、ライバルに大きく水をあけることを狙っている。それに対し、アーリー・マジョリティーは現行のオペレーションの生産性を改善する手段を購入しようとしており、彼らが求めているのは進化であって、変革ではない。そのため、アーリー・マジョリティーは、自分たちが採用するときまでには、新しい製品が正しく稼動し、現在採用しているテクノロジーとうまく統合できるようになっていることを願っている。そして深刻なことは、アーリー・マジョリティーが製品の購入決定をする際に参考となる先行事例が必須であるにもかかわらず、アーリー・アダプターとアーリー・マジョリティーとは共通点が少ないため、アーリー・アダプターがアーリー・マジョリティーの適切な先行事例となり得ないということである。そして唯一、アーリー・マジョリティーにとって参考になる先行事例は、他のアーリー・マジョリティーなのだが、そのアーリー・マジョリティーは、有用な先行事例をいくつか見てからでなければ製品を購入しないためどうしようもない壁に突き当たる。これが、アーリー・アダプターとアーリー・マジョリティーとの間に存在するキャズムに落ち込む理由であると述べている。

キャズムに落ち込んだ典型的な事例として、1980年代初期にさかんに宣伝されたAI(人工知能)について述べられているので紹介する。AIは今や見向きもされていないが、時代の先端をいくテーマであった。アーリー・アダプターからの強力な支持を得ていたにもかかわらず、AIがメインストリーム市場に進むことはなかった。アーリー・アダプターは、人間の意思決定をコンピュータが支援する分野に将来性を見出したが、メインストリーム市場はそうではなかった。AIがアーリー・マジョリティーに支持を得てメインストリーム市場に進むには障害が多すぎたからである。例をあげると、AIを駆動させるためのハードウェアに対するサポートの不足、既存システムにインテグレーションするためのスキルの欠如、AIを実際に導入するための技術者の不足などがあった。AIを大衆にとって使いやすいものにするという目標は達成されず、その結果、AIはメインストリームの入り口で足踏みをしていた。要するに、ハイテク製品がアーリー・アダプターからアーリー・マジョリティーへ市場を拡大しようとするときには、先行事例と手厚いサポートを必要とする顧客を、有効な先行事例と強力なサポートなしで攻略しようとするのはタブーである。

それでは、どのようにすれば、キャズムを乗り越え、メインストリーム市場に事業を拡大させることができるのであろうか。

ジェフリー・ムーアは、ハイテク市場がどのように発達するかを述べ、そこから導いた基本的な指針を述べている。ハイテク市場は、はじめにイノベーターとアーリー・アダプターにより初期市場が形成される。情熱とビジョンが溢れ、壮大な戦略的目標を達成する

ために多額の資金が投入される。つぎに来るのがキャズムである。この時期、有望なプロジェクトが初期市場に受け入れられるが、メインストリーム市場の顧客はその効用を見定めようとして動かない。

そして、すべてがうまくいけば、企業は無事にキャズムを越え、アーリー・マジョリティーとレイト・マジョリティーによって形成されるメインストリーム市場が出現し、富と成長を約束する真のチャンスが訪れるのはこのときであると述べている。メインストリーム市場がもたらすチャンスを逃さないようにするには、前述した3つの時期において、それぞれに最適なマーケティング戦略をとらなければならない。

つまり、成功の鍵は、以下の3点を実践することである。

(1)今がテクノロジー・ライフサイクルのどの段階にあたるのかを見極める。

(2)その段階における顧客の購買心理をよく理解する。

(3)その顧客層に合ったマーケティング戦略、マーケティング戦術を展開する。

繰り返しになるが、キャズムに落ち込むのは、革新的な製品に対する価値基準がまったく違うアーリー・アダプターとアーリー・マジョリティーに同じ方法で製品を売ろうとするからである。例えばアーリー・アダプターの顧客が行なった製品テストが成功した場合、技術ベンチャー企業はそのことを大々的に宣伝したが、アーリー・マジョリティーの顧客が聞きたいのはそのような内容ではなく、製品が現場で稼動している実例なのである。

そして、上記の成功の鍵となる3点に従い、キャズムを乗り越える以下のような具体的な指針が述べられている。

- ①アーリー・アダプターで構成される初期市場でない、アーリー・マジョリティーで構成されるメインストリーム市場につながるニッチ市場の中でターゲットとするマーケットセグメントを絞る。
- ②ターゲットに絞ったニッチ市場のマーケットセグメントで目指すのは、メインストリーム市場での拠点を確保することである。つまり、先行事例となるアーリー・マジョリティーの顧客を獲得し、メインストリーム市場のほかの顧客を攻略するための拠点づくりを目指す。
- ③この先行事例を打ち立てるためには、メインストリーム市場における当初の顧客の購入目的を完全に実現させるように、万全の体制で臨む必要がある。
- ④そのためには、単に自社が販売している製品だけでなく、顧客の目的を達成するために必要とされる一連の製品やサービスといった、いわゆるホールプロダクトを顧客に提示しなければならない。ここで必要なものがひとつでも欠けていたらソリューションとしては機能せず、先行事例の確保に失敗することになるで、先行事例を何としても確保するためには、顧客にホールプロダクトを提供することを確約する必要がある。
- ⑤ホールプロダクトを確約するのは、大きなコスト負担を強いられることになるため、戦略的にマーケットセグメントの数を絞って進めなければならない。また、マーケッ

トセグメントの数を絞ることによって、セグメント内のロコミが活発になされるマーケットがある。

- ⑥ニッチ市場を攻めるもうひとつの理由に、マーケット内のマーケット・リーダーになりやすいことがあげられる。アーリー・マジョリティーはマーケット・リーダーからしか製品を買おうとしないし、技術ベンチャー企業にとっては先行事例となるアーリー・マジョリティーの顧客を獲得することが当面の最大の目標であるため、ニッチ市場のマーケットでマーケット・リーダーになることは最良の戦略である。

以上のように、キャズムを越えようとするときには、ホールプロダクトによる梃子の原理、ロコミの効果、そしてマーケットにおけるリーダーシップを実現するために、ひとつかふたつのマーケット・セグメントに絞込み、そのマーケットを支配するということが必要不可欠となることが述べられており、マーケティング戦略を策定するときに下記9項目を考慮したシナリオの検証の重要性を挙げている。

「最重要項目」

- ターゲット・カスタマー(ムーアはマーケットではなくカスタマーの言葉を用いている。)
- 購入の必然性
- ホールプロダクト
- 競争相手

「重要項目」

- パートナーと提携企業
- 販売チャンネル
- 価格設定
- 企業のポジショニング
- 次なるターゲット・カスタマー

以上、ムーアのキャズム理論を中心にハイテク・ベンチャー企業の市場開拓戦略について述べてきたが、こうした戦略を実際に実行・維持するためには、やはりハイリターンを期待するベンチャー・キャピタリストたちの投資が必須であることは、前述の議論とまったく同様である。

### 2-3. まとめ

前節での議論をまとめると、総じて米国産業を牽引する、ソフトウェア、電子部品、情報通信などの分野、あるいは今後が期待されるバイオ分野でベンチャー企業が多く活躍しているのは、多くのベンチャー企業が開発成功時における産業的インパクトが大きく、大きな事業利益と大きな事業規模への発展性が期待できるハイリスク・ハイリターンの「J

カーブ型」ベンチャー経営での起業を目指している結果であることがわかった。そして、ベンチャー・キャピタルなどから、いかに資金調達できるかがJカーブ型ベンチャー経営の生命線であるといえる。

以上の先行研究をベースとして、私の起業実践の戦略が練られ、実行に移された。その経緯と結果については、第5章にて述べる。

## 第3章 研究の枠組み

### 3-1. リサーチ・クエスチョン

前章での議論から、技術ベンチャーの経営方針は、以下の2点に集約される。

- 1) 技術の事業化において、大学での基礎研究と、大企業での事業化の橋渡し役として、技術ベンチャーが重要な役割を担っている。技術ベンチャーは、基礎的な技術を、商品として開発し、大企業が展開するに足る事業へと育てることを目的とする。
- 2) 技術ベンチャーは、商品化への開発投資の調達という面で、ベンチャーキャピタルの投資を必要としており、このため、投資に対してリターン率の高い事業内容・技術対象を必要とする。即ち、開発成功時における産業的インパクトが大きく、大きな事業利益と大きな事業規模への発展性が期待される開発を手掛けることが必要とされる。

しかしながら、ここで浮かぶひとつの疑問は、こうした経営指針の背後には、米国的な産業構造があり、また社会的なインフラストラクチャーがあるということである。大学の研究体制、学生・研究者のメンタリティー、バイドール法に代表されるような法制度、大規模なベンチャーキャピタルやエンジェルの存在、コーポレート・ベンチャリングやM&Aを基本とする大企業の経営方針、また企業内の職制や人事制度、職の移動度など、実に多くの社会的要因と、こうしたベンチャー経営指針とは密接な因果関係がある。従って、日本のような経営環境で起業し技術ベンチャーを経営する場合、こうした米国流の経営指針がどこまで有効に働くかは、未知数と言わねばならない。むしろ、報告されている多くの事例をみれば、ベンチャーの失敗要因の中に、実はこうした米国流の経営指針との不適合性が働いている可能性すら考えられる。

著者は、自らの技術ベンチャーの起業と経営実践を通じて、こうした疑問や課題そのものを、実践を通じて検証していこうと考えた。

即ち、本研究は、

- 1) 前記米国流ベンチャー経営指針が、日本という経営環境において、どのように有効であるか？
- 2) また仮に有効でなかった場合には、どのような対応を考えねばならないのか、即ち、日本という経営環境に適した技術ベンチャーの経営指針とはなにか？

ということを基本的なリサーチ・クエスチョン（研究課題）とし、著者自らの経営実践によって、これを調査事例とし、分析・考察していこうというものである。

### 3-2. 研究方法

即ち、研究方法としては、以下の2段階のスキームによる、(実践)事例調査、分析・考察となる。

- 1) 米国流ベンチャー経営の指針に従った経営実践を行い、その有効性を考察する。  
もし有効であれば、具体的にどのように有効であるのか詳細な解析を行う。
- 2) 仮に必ずしも有効ではなかった場合に、その非有効性の分析により、新たなベンチャー経営の指針を策定し、その経営実践を行い、その有効性を考察する。

これらの過程を通じて、最終的には日本という経営環境における技術ベンチャーの有効な経営指針とは何か、という課題に関して、ないがしろの示唆を得ることを研究目的とする。

結果的には、著者の実践では、米国的Jカーブ型ベンチャー経営は有効ではなく、日本のサステナブル型ベンチャー経営のスタイルを提唱し、これを実践により部分的ではあるが有効性を確認した。従って、本研究は、前記2段階の研究スキームを骨格とする構造となった。

### 3-3. 研究枠組み

技術ベンチャーの経営とその有効性について論じるためには、その技術的側面と、事業運営的な側面の両面から調査を行い、さらにこれらの因果関係に十分留意して考察を行う必要がある。従って、本研究では、経営手法という点で、

- 1) 米国型Jカーブ型ベンチャー経営の実践と解析
- 2) 日本型サステナブル型ベンチャー経営の実践と解析

という2つの部分から構成され、さらに各部に対して、

- 1) 技術開発
- 2) 事業運営
- 3) 分析・考察

という3点から構成することとする。

これらに基づき、技術ベンチャーの日本に適した経営指針について普遍的な示唆ないし経営モデルの提案を導くものとする。

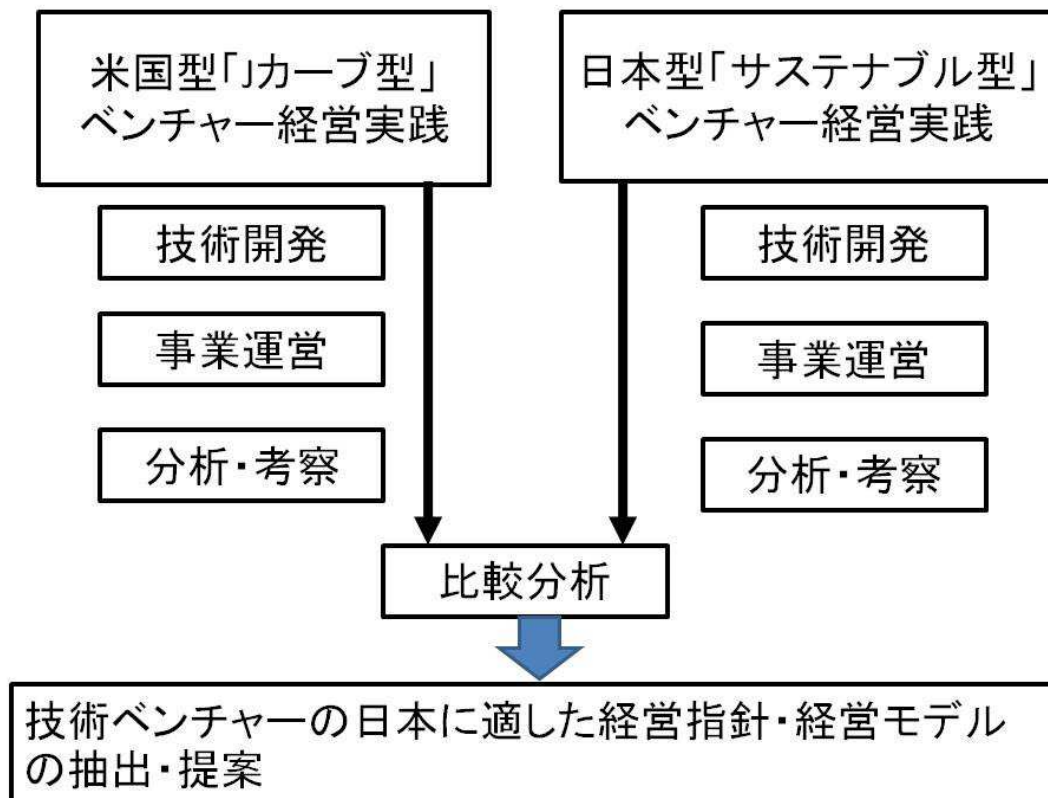


図 3-1. 本研究の枠組み

## 第4章 照明産業における新事業機会の考察

本章では、本研究の対象事業分野である照明産業の調査をすることにより、市場規模、市場成長性、顧客ニーズなどの顧客分析や技術の市場占有度、ライバルの相対的な強み・弱みなどの競合分析といった経営環境分析の外部分析について述べる。はじめに、照明の誕生から現在に至るまでの歴史を振り返り照明の変遷を学ぶ。つぎに、グリーン・ライト即ち環境にやさしい省エネルギー型照明の必要性を述べ、照明産業市場・動向や各種照明の特長や性能の調査結果から照明産業での事業機会を考察する。

### 4-1. 照明産業の歴史と現状<sup>4-1)</sup>

照明は人類の生活に欠かせないものである。人類がはじめて利用したあかりは、焚き火やろうそく、ガス灯といった自然の炎であった。それ以前の夜は街でも漆黒の暗黒に包まれた不気味な世界だったようだ。静まり返った通りは、盗賊や辻斬りなどが横行していたため、江戸時代には町の木戸が下ろされ、基本的には一般の人たちは家から遠出ができなかったようだ。中世のヨーロッパでも同様で、日が沈むと同時に城門が閉じられていた。仕事を終えた人々は家に帰ると、家の門を下し、さらに鍵を掛けて夜の恐怖と不安から身を守る準備をしていたようだ。

17世紀のパリの主要な街路にはろうそくを用いた街路灯が灯され、暗闇で起こる犯罪防止に役立っていた。このように人類があかりを利用し始めた理由のひとつに犯罪防止があったというのは興味深いことである。

1810年代にはガス灯がロンドンやパリなどの主要都市の街路を照らし始めた。産業が栄え、これらの都市の人口が急増したため、ガス灯が灯った街路が拡大していた。

1879年には初の「電気のあかり」となる白熱電球がエジソンによって実用化された。白熱電球は、ガラス球内のフィラメントのジュール熱による輻射を利用した照明である。ジュール熱を用いて導体を白熱させ、照明に用いる試みは古くからあったが、一応の完成を見た真空白熱電球は英国のJ.W.スワンが1878年に発明したものである。そのことを知ったエジソンが翌年に類似の電球を製造したと記載されている。初期の白熱電球は暗く寿命も短いものであったが、様々な改良が加えられ、ランプの種類も増え、普及していった。

1938年には蛍光灯がアメリカのゼネラルエレクトロニクス社のインマンらによって開発された。蛍光灯は、ランプ内で発生した紫外線がガラス管内に塗布された蛍光物質を励起することによって可視光が発生する照明である。蛍光灯はかなり早い時期に日本に導入されたが、初期は軍事用や青色誘蛾灯（波長の短い光りに蛾などの害虫が集まるため）など特殊用途として使用していた。しかしながら、蛍光灯は白熱電球に比べて発効効率が高く、寿命も長いので経済的であったため、エネルギー自給率の低い日本にとって、好都合



の照明であり、急速に普及していった。蛍光灯の普及でオフィスや店舗は年々明るくなっていった。そのため、採光が不十分な屋内や夜間でも十分な生産活動が可能となり、日本の経済発展に大きく貢献した。

蛍光灯が普及してからも高圧水銀ランプ・高圧ナトリウムランプやメタルハライドランプなど数多くのランプが開発された。しかし、白熱電球が第2世代、蛍光灯が第3世代のあかりといわれているように、現在に至るまで、この2つのランプは人類の生活にとってかけがえの無いランプであり続けているといえる。このことは日本国内の一般照明の光源別売り上げ数量の2006年実績データ(表4.1)<sup>4-2)</sup>からも白熱電球・蛍光灯は他光源に比べて需要が多く人々の生活に密着していることがわかる。

表4-1. 日本国内の一般照明市場規模(2006年度実績)  
(出所:『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007年度版』)

<光源別・用途別の数量と構成比>

単位:千個

光源	用途	数量	構成比
白熱電球	住宅用	95,600	23.9%
	店舗用	5,060	1.3%
	施設用	5,640	1.4%
<b>小計</b>		<b>106,300</b>	<b>26.6%</b>
ハロゲンランプ	店舗用	18,250	4.6%
	施設用	1,700	0.4%
	舞台用	170	0.0%
<b>小計</b>		<b>20,120</b>	<b>5.0%</b>
電球型蛍光灯	住宅用	14,700	3.7%
	店舗用	4,250	1.1%
	施設用	4,020	1.0%
直管蛍光灯	事務所用	36,400	9.1%
	店舗用	36,900	9.2%
	施設用	59,600	14.9%
環形蛍光灯	住宅用	83,600	20.9%
	事務所用	600	0.1%
蛍光灯	舞台用	121	0.0%
コンパクト蛍光灯	住宅用	5,300	1.3%
	事務所用	4,300	1.1%
	店舗用	7,400	1.8%
	施設用	4,800	1.2%
	道路用	380	0.1%
	街路用	1,500	0.4%
<b>小計</b>		<b>263,871</b>	<b>65.8%</b>
HID	店舗用	2,800	0.7%
高圧ナトリウムランプ	施設用	500	0.1%
	道路用	740	0.2%
水銀ランプ	道路用	350	0.1%
	街路用	350	0.1%
メタルハライドランプ	施設用	4,700	1.2%
	道路用	770	0.2%
	街路用	270	0.1%
	舞台用	14	0.0%
<b>小計</b>		<b>10,494</b>	<b>2.6%</b>
<b>合計</b>		<b>400,785</b>	<b>100.0%</b>

#### 4-2. グリーン・ライトの必要性

石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料は、長い間エネルギー資源として使用されてきた人類の生活・活動に不可欠な資源であるが、これまでの大量消費により危機的状況におかれている。特に、石油資源はこのままの規模で消費を続けると比較的短期間のうちに枯

渴するであろうと言われている。1973年および1979年の2度にわたる石油危機を経験したことで日本では「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネルギー法）」が制定されるなどの対策により、日本のエネルギー消費量はしばらく横ばいが続いた。しかし、1986年以降は、エネルギー多消費型ライフスタイル傾向が強まったこともあり、エネルギー消費量は増大に転じ、現在もエネルギー消費量増大傾向は維持している。（図4-1）<sup>4-3)</sup>

一方、地球環境問題では、オゾン層の破壊、地球温暖化、酸性雨、海洋汚染、熱帯雨林の減少、砂漠化などさまざまあるが、その中でも地球温暖化は世界の最重要課題として大きく取り上げられている。温暖効果の約5割は二酸化炭素が原因で、そのうち約8割が化石燃料消費によって発生すると言われている。（図4-2、図4-3）<sup>4-3)</sup>

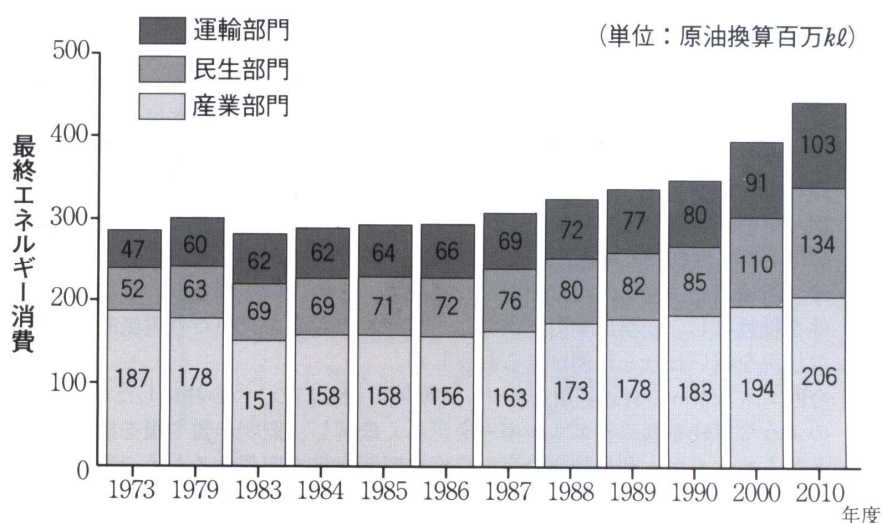


図4-1. 部門別エネルギー需要の推移（出所：『新・照明教室 オフィス照明と省エネルギー』<sup>4-3)</sup>）

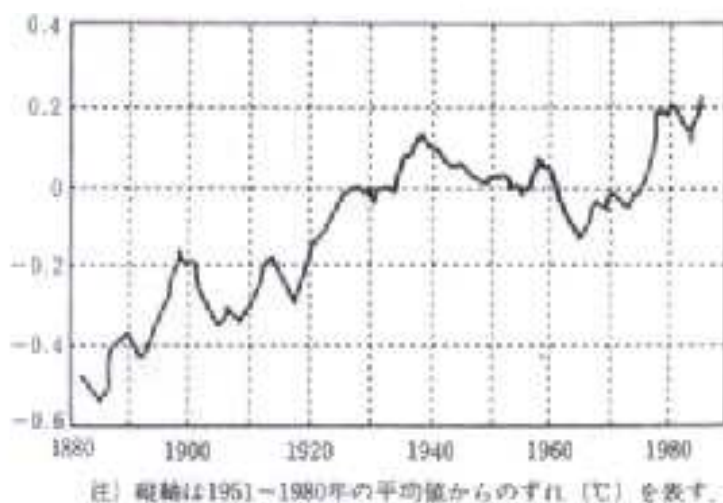


図4-2. 地球の気温の経時変化（出所：NASA資料による）

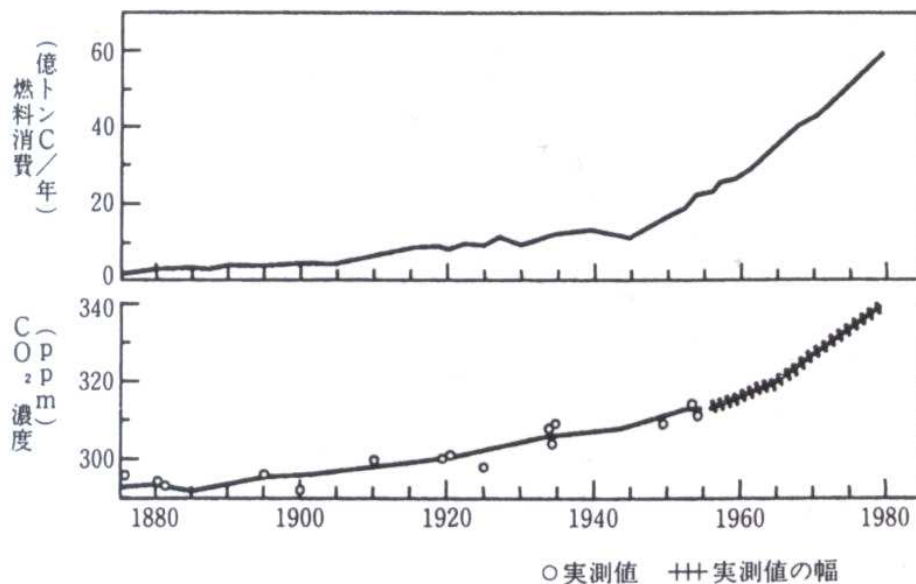


図 4-3. 大気中二酸化炭素の増加と化石燃料消費量の変化（出所：『新・照明教室 オフィス照明と省エネルギー』）

上記のように石油資源の枯渇化の懸念と地球環境問題の視点により化石燃料使用の削減が国際的に求められるようになった。

こうした状況を受け、産業界全体がエコ商品に注力している。日本では最近、環境省がエコポイント事業の推進を開始し、消費者の地球環境保護に対する意識づけ及びエコ商品の普及促進を図っている。統計によると全世界の総電力エネルギーの約25%が照明に使われるとのことであり、照明における省エネルギーの効果は絶大である。

また、化学物質に関しては、2003年2月にEU（欧州連合）で、電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限指令（RoHS 指令）が発効され、これに伴い、鉛・水銀・カドミウム・六価クロム・臭素系難燃剤（PBB, PBDE）の6物質に対し、2006年7月1日より、不含有を保証することなど、製品含有化学物質のグローバルな法規制が強化・加速した。そのような中、国や独立行政法人は環境負荷の少ない物品等を調達するように定めた「国等による環境物質等の調達の推進に関する法律」（略称：グリーン購入法）が施行され、この動きは、地方公共団体や民間企業の物品調達にも広がっていた。本研究の対象事業分野である照明産業関連の特定調達物品(2006年度)としては、蛍光灯照明器具、蛍光管、電球型蛍光ランプ、公共工事の環境配慮型道路照明、照明制御システムが上げられている。

グリーン購入法に定められた蛍光管・電球型蛍光ランプの適合要件を以下に抜粋する。

品目

蛍光管（直管形、40形蛍光ランプ）

判断の基準

次のいずれかの要件を満たすこと。

1. 周波点灯専用形（Hf）であること。
2. ラピッドスタート形またはスタータ形である場合、下記の基準を満たすこと。
  - ア. エネルギー消費効率、ランプ効率で 80lm/W 以上であること。
  - イ. 演色性は平均演色評価指数 Ra が 80 以上であること。
  - ウ. 管径は 32.5（±1.5）mm 以下であること。
  - エ. 銀封入量は製品平均 10mg 以下であること。
  - オ. 格寿命は 10,000 時間以上であること。

品目

電球形形状のランプ

判断の基準

使用目的に不都合なく器具に接合する場合、次のいずれかの要件を満たすこと。

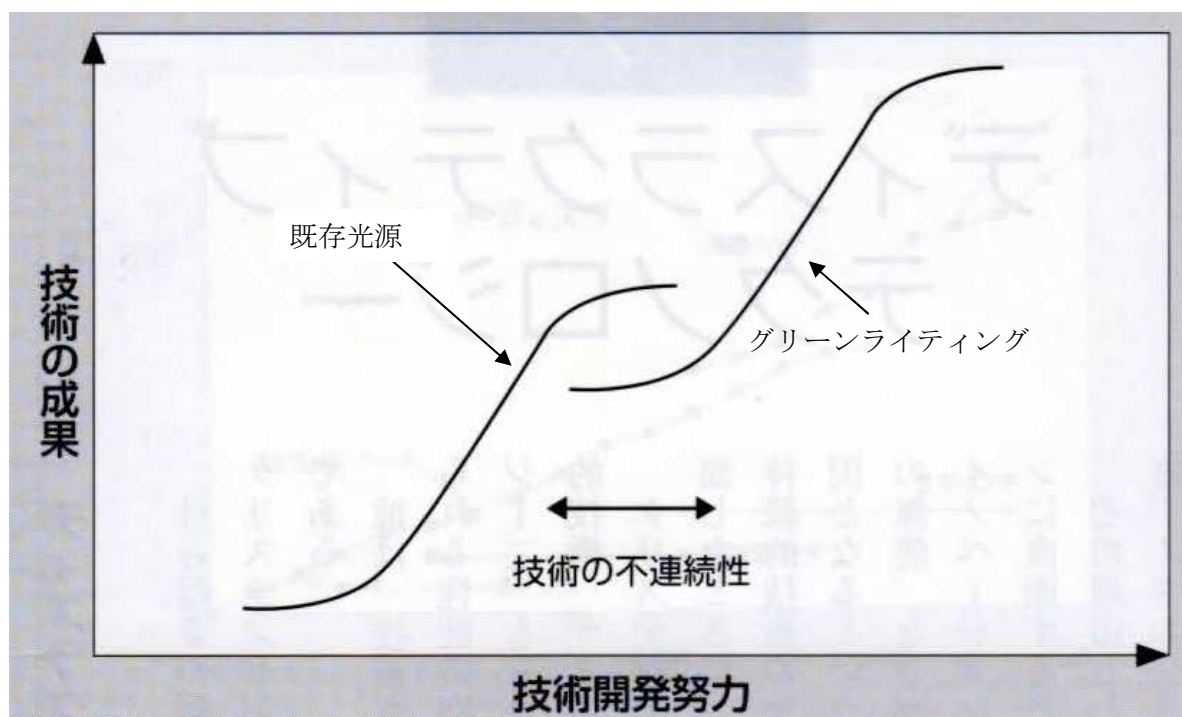
1. LED ランプである場合は、定格寿命が 30,000 時間以上であること。
2. LED 以外の電球形形状のランプ（電球形蛍光ランプも含む）である場合、以下の基準を満たすこと。
  - ア. エネルギー消費効率、ランプ効率で 40lm/W 以上であること。
  - イ. 電球形蛍光ランプにあつては、水銀封入量は製品平均 5mg 以下であること。
  - ウ. 定格寿命は 6,000 時間以上であること。

このように照明においては省エネルギー、水銀フリー、長寿命など環境にやさしい照明（グリーンライティング）の出現が切望されている。後述するように、フィールドエミッションランプ（FEL）はグリーンライティングの有力な候補の一つであり、その特徴を最大限に発揮すれば多くの分野で活躍できる可能性を秘めている。グリーンライティングとして FEL が普及し、地球温暖化問題や廃棄物問題への取り組みに貢献する意義は非常に大きいのである。

現在、白熱電球と蛍光灯を核として安定を誇っていた照明産業は、ここで述べた地球温暖化防止などの地球環境保護の取り組みが発端となり、変革期を迎えている。消費電力の大きい白熱電球の製造・販売中止を多くの国が発表し、日本も 2012 年中の製造中止を発表している。また、抜本的な打開策として、省エネルギー、水銀フリー、長寿命など環境にやさしい照明（グリーンライティング）の出現が切望されている。このような中グリー

ンライティングの有力候補の一つである LED 照明は蛍光灯に代わる第 4 世代のあかりとして普及を目指し、国をあげて開発に取り組んでいる。

フォスターは技術の限界にさしかかった一群の製品や製法が新たな技術を持つ別のグループにとって代わられる転換を技術の不連続期と呼んだ。2つの技術の S 曲線間には断絶があり、その狭間の先に新しい曲線が形を現す。(図 4-4)



(出所：R. フォスター『イノベーション』をアレンジ)

図 4-4 技術の変異 (フォスターによる)

このように、現在の照明産業は、白熱電球などの既存光源が LED 照明などのグリーンライティングにとって代わられる技術の不連続期にさしかかっていると考えられる。

#### 4-3. 照明産業の市場調査<sup>4-2)</sup>

##### 4-3-1. 照明産業を支える各種光源／照明の原理・特長とその用途

通常、光源／照明市場を調査する際、特殊光源と一般照明に分けて考察する場合が多い。特殊光源は各種用途により定義できる光源であり、一般照明は各種光源により定義できる照明とし、具体的には以下のように分類することができる。

### 特殊光源

- ディスプレイ用途：液晶バックライト、プロジェクタ用光源、LEDディスプレイ用光源
- シグナル用途：交通信号灯、産業／業務用回転・信号灯
- センシング用途：赤外線センサ光源、産業用光センサ光源、光通信用光源、セキュリティ光源
- 医療・画像処理用途：内視鏡用光源、眼科医療用機器用光源、医療用光源（手術灯・診療灯）、画像処理用光源
- 光化学反应用途：接着用光源、洗浄／硬化・乾燥／コーティング用光源、水殺菌／空気殺菌用光源、露光装置用光源、植物育成用光源
- 自動車用途：自動車用光源（外装ランプ）、自動車用光源（内装ランプ）
- 機器組込用途：庫内・什器組込照明、アミューズメント機器用光源

### 一般照明

- 蛍光灯、白熱電球、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ、HID、水銀ランプ、白色LED

上記光源はその発光原理により図4-5のように分類できる。これらの光源の発光原理と特長・性能などについて述べる。<sup>4-4)</sup>

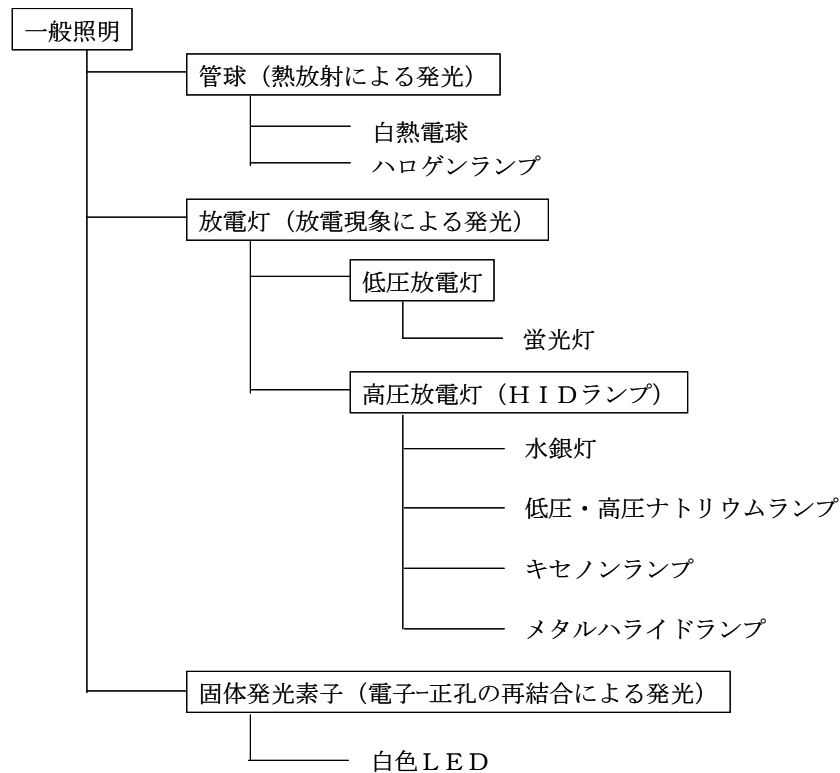


図4-5. 一般照明の発光原理による分類

## 管球

### ●白熱電球 (図 4-6)

#### (原理)

電気エネルギーをタングステンフィラメントなど高温に耐える抵抗体に通電し、熱エネルギーに変換されたその加熱発光を利用した照明。

#### (主な長所)

- ・ 安価である。
- ・ 環境有害物質を含まない。
- ・ 演色性が良い。(太陽光に近い。平均演色性指数 Ra : 100)
- ・ 調光が非常に容易である。

#### (主な短所)

- ・ 発光効率が低い。(市販されているものは 10~15lm/W である。)
- ・ 熱の発生が多い。
- ・ 寿命が短い。(市販されているものは 1000 時間程度である。)

### ●ハロゲンランプ

#### (原理)

発光原理は白熱電球と同じである。両者の違いは、白熱電球はバルブ内に不活性ガス(通常は、アルゴンガスと窒素ガスの混合ガスが封入されている。)が封入されているのに対し、ハロゲン電球は、不活性封入ガスの中に微量のハロゲン元素(ヨウ素、臭素、塩素)が入ったガスが封入されている。ハロゲン元素は高温加熱で蒸発したタングステンを再びタングステンフィラメントに還元させ、結果的にフィラメントに蒸発を抑制する働きがある。

#### (主な特長)

基本的には、白熱電球と同じ長所・欠点を有するが、封入ガス中のハロゲン元素添加の効果により、白熱電球より以下の点で優れている。

- ・ 同じフィラメント温度であれば寿命が約 2 倍長い。
- ・ 同じ寿命であれば発光効率は約 15% 高くすることができる。

## 放電灯

放電灯は、気体中の放電現象を利用した光源である。放電発光とは、電子が気体中を放電する際に気体と衝突することにより励起された気体が元の基底状態に戻るときに光エネルギーを出す現象である。放電灯の中には、放電で得た光エネルギーをそのまま可視光と

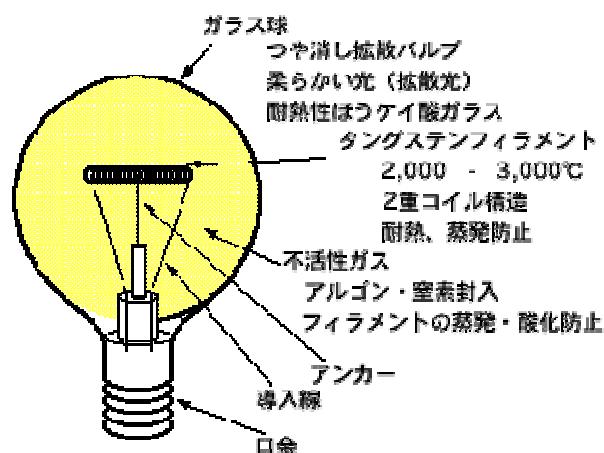


図 4-6. タングステンフィラメントランプ

して利用するものもあるが、蛍光灯のように放電で得た光エネルギーを利用し管内に塗布した蛍光体を励起させて可視光を得るものもある。

### ● 蛍光灯 (図 4-7)

(原理)

蛍光管内のフィラメントから放射される熱電子が管内の水銀粒子に衝突することにより発生する紫外線が管壁面に塗布された蛍光体を励起させ可視光に変換される。

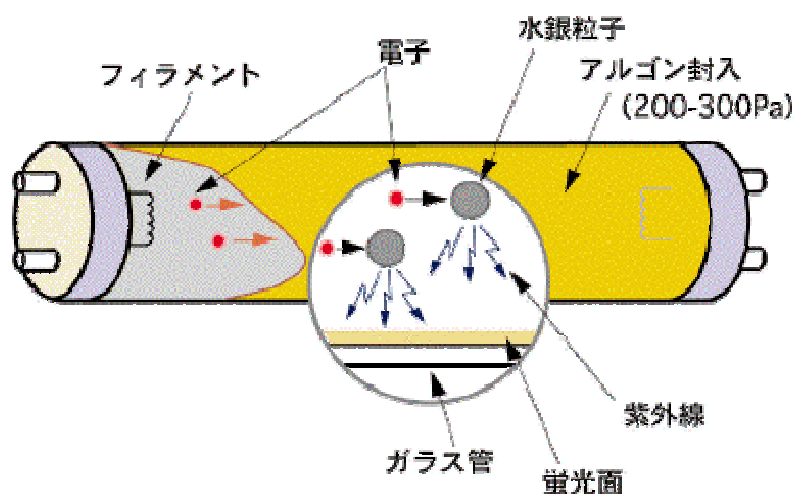


図 4-7. 蛍光灯の発光原理

(主な長所)

- ・ 比較的安価である。
- ・ 発光効率が低い。(約 80lm/W、高周波点灯蛍光灯 (Hf ランプ) で 100~110lm/W)
- ・ 柔らかい光の照射である。(陰ができにくく空間を均一に照らすのに適している。)

(主な短所)

- ・ 環境有害物質 (水銀) を含む。
- ・ 高輝度発光に向いていない。

### ● 水銀灯

(原理)

ガラス管内の水銀蒸気中のアーク放電により発生する光放射を利用した光源である。点灯中の水銀蒸気圧は 100k~1,000k(1~10 気圧)程度に達し、紫外光(404.7nm)、青色(435.8nm)、緑色(546.1nm)と黄色(577.0~579.1nm)の輝線スペクトルからなる緑がかった青白色の光を発する。



(主な長所)

- ・高出力品を廉価で製造できる。(街灯や工場・体育館などの照明設備といった高光量が必要な照明設備に適している。)
- ・発光効率が比較的高い。(50～60lm/W)

(主な短所)

- ・環境有害物質(水銀)を含む。
- ・演色性が悪い。(平均演色性指数 Ra : 14～50)
- ・点灯時と再始動時に時間がかかる。

## ●ナトリウムランプ

(原理)

ナトリウム蒸気中のアーク放電により発生する光放射を利用した光源であり、ナトリウム蒸気圧の違いにより低圧ナトリウムランプ(0.5Pa 程度)と高圧ナトリウムランプ(13kPa :0.1 気圧程度)に分類される。ナトリウムの放電は、D線(589.0nm、589.6nm)と呼ばれる黄色の輝線スペクトルが強く放射され、ナトリウム蒸気圧を上げるにしたがいスペクトルが可視領域全体に広がり黄白色の帯スペクトルになる。

(主な長所)

- ・発光効率が非常に高い。(低圧ナトリウムランプは実用光源中最高値 : 120～180lm/W を示し、高圧ナトリウムランプは 100～130lm/W を示す。)
- ・寿命が長い。(10,000 時間以上)
- ・高光量が出せる。(高圧ナトリウムランプは屋外や工場・体育館などの照明設備に適している。低圧ナトリウムランプの発光波長(589nm)は比較的長いため、散乱が少ないので視認性が良くトンネル照明などに多く使われている。)

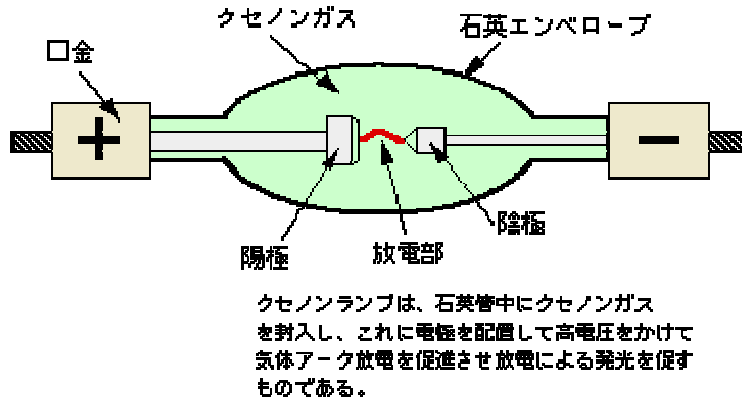
(主な短所)

- ・演色性が悪い。(低圧ナトリウムランプは発光波長が 589nm 付近の単色光で、高圧ナトリウムランプの平均演色性指数 Ra : 15～25)
- ・始動時に安定するまでに時間がかかる。

●キセノンランプ (図 4-8)

(原理)

石英ガラス管内に封入したキセノンガスのアーク放電により発生する光放射を利用した光源であり、発光スペクトルは紫外から赤外にかけて太陽光に近いスペクトルを示す。



ショートアーク型クセノンランプ

図 4-8. キセノンランプ

(主な長所)

- ・構造上、点光源にしやすい高輝度を出せる。(映写用、印刷用光源として適している。)
- ・演色性が良い。
- ・寿命が長い。

(主な短所)

- ・熱の発生が多く、点灯部分はかなり高温になる。
- ・発光効率が良くない。(25~30lm/W)

●メタルハライドランプ (図 4-9)

(原理)

石英ガラス管内 (あるいは透光性セラミック) に封入した水銀とハロゲン化金属 (メタルハライド) の混合蒸気中のアーク放電により発生する光放射を利用し、水銀灯の効率の良さを保ちながら演色性を改善した光源である。用いられるハロゲン化金属には NaI, SnI<sub>2</sub>, TiI, InI, DyI<sub>3</sub> などがある。

(主な長所)

- ・演色性が良い。
- ・発光効率が良い。(80lm/W)
- ・長寿命である。

- ・数十 W～12kW 程度のランプがあるので広範囲の用途に対応できる。

(主な短所)

- ・環境有害物質（水銀）を含む。
- ・本来は点灯するまでに時間が掛るため、早く明るく点灯させるためには別回路が必要である。

(初期の発光を助けるためにキセノンガスを封入し、バラスト回路を加える。)

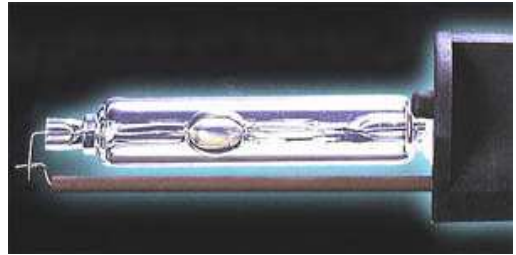


図 4-9. 自動車用ヘッドライト

## 固体発光素子

### ●白色 LED

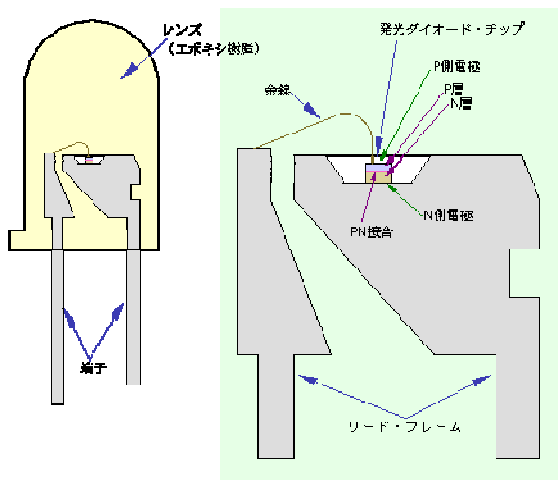
(原理)

LED とは発光ダイオード(Light Emitting Diode)の略であり、半導体を用いた pn 接合が

その基本構造である。(図 4-10) この構造の中で電子のエネルギーを直接、光エネルギーに

変換することで発光する。電極から半導体に注入された電子と正孔は異なるエネルギー帯(伝導帯と価電子帯)を流れ、pn 接合部付近で禁制帯を超えて再結合し、その際、両者のエネルギー差(バンドギャップ)に相当する光を放出する。(図 4-11) 放出される光の波

長は、半導体材料のバンドギャップによって決められる。図 4-12 に LED に用いられる代表的な半導体とそのバンドギャップを示す。



赤色発光ダイオード 全体構造図(左)と内部構造拡大図

図 4-10. LED の基本構造

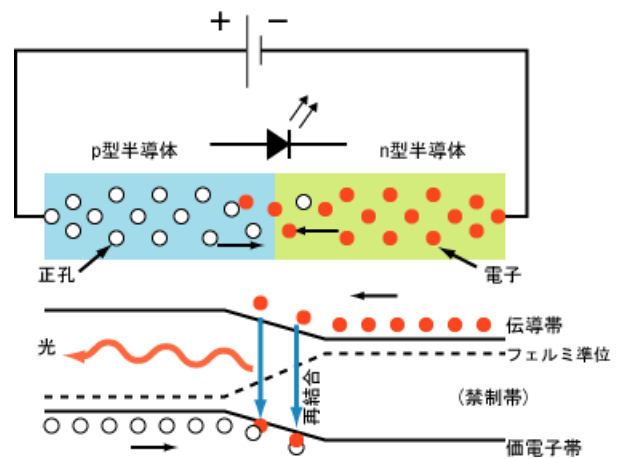
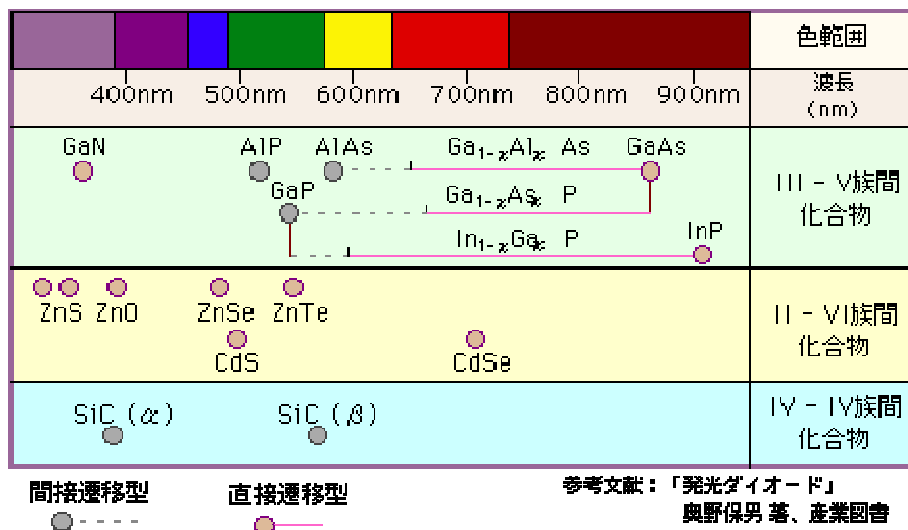


図 4-11. LED の発光原理



各化合物とその禁制帯幅に相当する発光波長

図 4-12. LED に用いられる代表的な半導体とそのバンドギャップ

(主な長所)

- ・寿命が長い (使用条件によるが、50,000 時間以上と報告されている。)
- ・低消費電力・低発熱である。
- ・小型・丈夫で多様なデザイン設計が可能である。
- ・調光が容易である。
- ・瞬時点灯が可能である。
- ・高周波パルス発光が容易である。(1  $\mu$ s 程度)

(主な短所)

- ・大光量を出すには多数の LED が必要である。
- ・特性を維持するためには放熱設計が重要である。
- ・同じ光量の場合、他光源よりコストが高い。
- ・擬似白色タイプの LED は演色性が良くない。

以上で代表的な光源の原理や特長を述べたが、市販されているこれらの光源の性能比較を表 4-2 に示す。

表 4-2. 主な光源の特性比較

光源の種類	定格電力 (W)	全光束 (lm)	ランプ効率 (lm/W)	総合効率 (lm/W)	色温度 (K)	平均演色評価数 (Ra)	定格寿命 (h)
<b>管球</b>							
白熱電球							
一般照明用 (白色塗装 : 110V用)	60	790	13.2	13.2	2,850	100	1,000
一般照明用 (薄膜白色塗装)	54	810	15	15	2,850	100	1,000
ボール電球 (白色塗装)	57	705	12.4	12.4	2,850	100	2,000
クリプトン電球	54	800	14.8	14.8	2,850	100	2,000
ハロゲン電球							
片口金形	100	1,600	16	16	2,900	100	1,500
片口金形 (赤外線反射膜付き)	85	1,680	19.8	19.8	2,900	100	2,000
小型 (低電圧形)	50	900	18	18	3,000	100	2,000
両口金形	500	10,500	21	21	3,000	100	2,000
<b>低圧放電ランプ</b>							
電球型蛍光ランプ (電子点灯)							
球形・円筒形 (電球色)	12	810	67.5	67.5	2,800	84	6,000
球形・円筒形 (昼白色)	12	780	65	65	5,000	84	6,000
4本管形 (昼白色)	12	780	65	65	5,000	84	8,000
直管形蛍光ランプ							
スタータ形 (白色)	37	3,100	84	70	4,200	61	12,000
3波長形 (昼白色)	37	3,560	96	81	5,000	88	12,000
ラピッドスタート形 (白色)	36	3,000	83	77	4,200	61	12,000
3波長形 (昼白色)	36	3,450	96	86	5,000	88	12,000
高周波点灯専用形 (Hf) (昼白色)	32	3,520	110	105	5,000	84	12,000
高周波点灯専用形 (Hf) (昼白色)	45	4,950	110	105	5,000	84	12,000
環形蛍光ランプ							
スタータ形・3波長形 (昼白色)	28	2,100	75	62	5,000	88	6,000
コンパクト形							
2本管形 (昼白色)	27	1,800	67	52	5,000	84	7,500
4本管形 (昼白色)	27	1,550	57	45	5,000	84	6,000
<b>HIDランプ</b>							
水銀ランプ							
水銀ランプ (透明形)	400	20,500	51	48	5,800	14	12,000
蛍光水銀ランプ	400	22,000	55	52	3,900	40	12,000
メタルハライドランプ							
高効率形 (Sc-Na系) (透明形)	400	44,000	110	106	3,800	70	12,000
低始動電圧系 (Sc-Na系) (拡散形)	400	42,000	105	101	3,800	70	12,000
高演色形 (Sn系)	400	17,100	43	37	4,600	90	6,000
高演色形 (両口金形) (Dy-Tl系) (白色)	250	20,000	80	76	4,300	85	6,000
高圧ナトリウムランプ							
始動器内蔵形 (拡散形)	360	47,500	132	123	2,050	25	12,000
演色改善形 (拡散形)	360	36,000	100	92	2,150	60	12,000
高演色形 (拡散形)	400	19,500	49	45	2,500	85	9,000
低圧ナトリウムランプ	180	31,500	175	140	1,740	-44	9,000
<b>固体発光素子</b>							
LED電球							
東芝ライテック社製E-CORE (電球色)	4.3	230	-	53.5	-	-	40,000
東芝ライテック社製E-CORE (白色)	4.3	310	-	72	-	-	40,000
アドテック社製Brilluce (電球色)	5	175	-	35	3,000	75	40,000
アドテック社製Brilluce (白色)	5	240	-	48	6,000	75	40,000
シャープ社製600シリーズ (電球色)	7.5	360	-	48	2,800	-	40,000
シャープ社製600シリーズ (昼白色)	7.5	560	-	74	5,000	-	40,000

注1) 白熱電球、LED電球は0時間値、その他は100時間値の全光束値を示す。

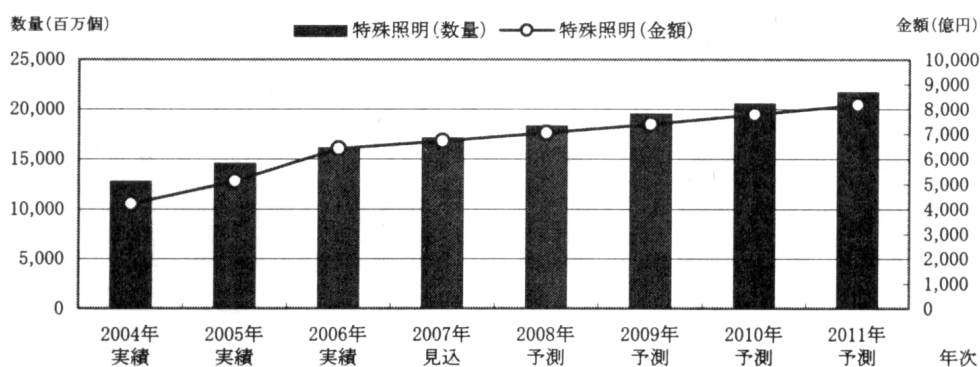
注2) 蛍光ランプ、HIDランプ、低圧ナトリウムランプは安定器損失を含めた効率、安定器は、200V 1灯用高力率形として計算した。ただし、ラピッドスタート形は200V 2灯用、高周波点灯専用形 (Hf) は高周波点灯専用安定器との組み合わせによる。

注3) LED電球は各社の商品カタログから引用した。

## 4-3-2. 照明市場の規模・動向

### 4-3-2-1. 特殊光源

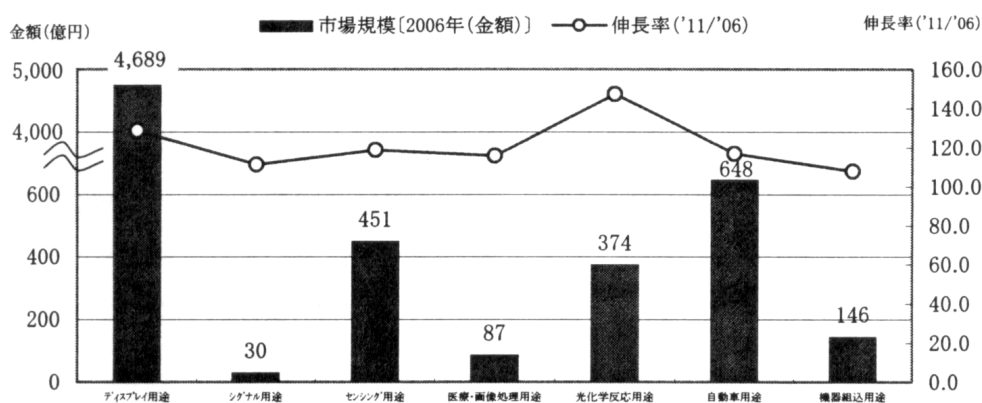
4-3-1 で分類した特殊光源に関して調査資料<sup>4-2)</sup>を参考にし市場規模の推移や光源別市場構成などを分析した。特殊光源の市場規模の推移を図 4-13 に、用途別市場規模の比較を図 4-14 に、光源別市場構成（金額ベース）を図 4-15 に示す。



図

4-13. 特殊光源市場規模推移

(出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007 年度版』)



図

4-14. 用途別市場規模比較

(出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007 年度版』)

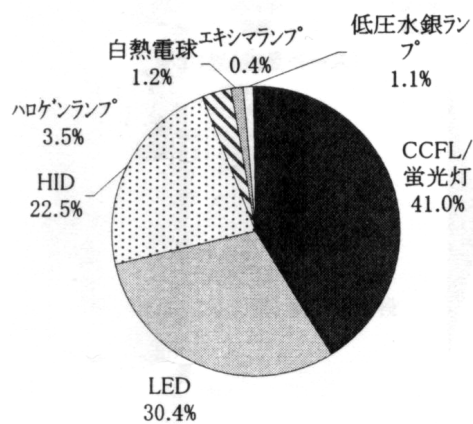


図 4-15. 光源別市場構成（金額ベース）

（出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007 年度版』）

図 4-13 からわかるように、特殊光源市場規模は 2005 年、2006 年の伸長率は金額ベースでそれぞれ 122%、125%程度であったのに対し、2011 年までの市場予測では伸長率は実績値よりは低いが、毎年 105%程度の伸長率で着実に推移すると見込まれている。

2006 年実績を用途別に見ると規模の差はあるがほぼすべての用途で伸びを示している。（図 4-14）その中でも、特殊光源市場を牽引している用途は、ディスプレイ用途、センシング用途、光化学反应用途、自動車用途である。

ディスプレイ用途は、大きな市場規模でありながら、今後の成長が見込める有望分野である。光源は当面は CCFL が主流であり続けるが、LED の台頭も見逃せない。

センシング用途は、主に電源部に採用されるフォトカプラの市場がセット機器市場拡大にあわせて成長している。光源は赤外 LED である。

光化学反应用途は紫外 LED を投入してから、スポット UV 光源装置で紫外 LED の採用事例が急増している。高出力紫外 LED を投入し、主要用途である光ピックアップ分野、エアキュアリング用途への展開が見込まれている。

自動車用途は高演色性・省エネ性で HID ヘッドランプ市場が拡大している。

このような用途別市場規模を反映して、金額ベースの光源別市場構成は、特殊光源市場を牽引している用途で用いられる光源（CCFL、LED、HID）が全体の約 94%を占める結果となっている。（図 4-15）

つぎに、特殊光源の用途別市場の動向予測（数量ベース）をまとめた。

### ディスプレイ用途

#### ■液晶バックライト 伸長率（2011年/2006年）：141.8%

（主なプラス要因）

- ・携帯電話市場が拡大
- ・液晶 TV 市場が拡大
- ・ノート PC で LED バックライト搭載製品が投入
- ・LED バックライト搭載液晶 TV 登場に期待

（主なマイナス要因）

- ・携帯電話のバックライト用で搭載個数減少傾向
- ・携帯電話のキー照明で搭載個数減少

#### ■プロジェクタ用光源 伸長率（2011年/2006年）：151.7%

（主なプラス要因）

- ・リアプロジェクション TV 交換ランプ需要拡大
- ・ホームプロジェクタの増加
- ・LED プロジェクタが注目

（主なマイナス要因）

- ・競合の液晶 TV・PDP 市場拡大
- ・光源の長寿命化で交換ランプ需要が低調
- ・ランプ価格下落

#### ■LED ディスプレイ光源 伸長率（2011年/2006年）：74.3%

（主なプラス要因）

- ・イベント時の LED ディスプレイ需要拡大

（主なマイナス要因）

- ・公共事業縮小で情報標示板用途での需要減

### シグナル用途

#### ■交通信号灯 伸長率（2011年/2006年）：94.9%

（主なプラス要因）

- ・置き換えのパイは豊富
- ・矢印用信号灯の増加
- ・環境意識向上が交通信号灯の LED 化を刺激

（主なマイナス要因）

- ・交通信号機新規設置需要が低調
- ・交通信号灯の LED 化が遅れている
- ・LED 式での LED 搭載個数の減少
- ・非積極的プレイヤーの増加

#### ■産業/業務用回転・信号灯 伸長率（2011年/2006年）：122.3%

（主なプラス要因）

- ・信号灯・表示灯市場が FA 業界堅調で拡大
- ・高付加価値 LED が好調

（主なマイナス要因）



- ・LED 単価の下落

#### センシング用途

##### ■赤外線センサ光源 伸長率（2011年/2006年）：132.4%

（主なプラス要因）

- ・フォトカプラ市場が中長期的に勢い回復
- ・フォトインタラプタの市場は堅調
- ・IrDA の用途である携帯電話市場拡大
- ・IrDA で携帯電話での採用率増加
- ・リモコン用途裾野拡大

（主なマイナス要因）

- ・2007年にフォトカプラ市場が落ち着く可能性あり
- ・反射型フォトインタラプタの用途市場に飽和感
- ・リモコン統合への懸念

##### ■産業用光センサ光源 伸長率（2011年/2006年）：132.4%

（主なプラス要因）

- ・用途製品（ユニット）市場が堅調
- ・高付加価値 LED 販売が堅調

（主なマイナス要因）

- ・LED 単価の下落/薄利多売の環境

##### ■光通信用光源 伸長率（2011年/2006年）：102.7%

（主なプラス要因）

- ・民生用光 DL は薄型 TV/ホーム NW で拡大
- ・FA 用光 DL は FA 業界で需要拡大中
- ・車載 LAN 用光 DL は中長期的に需要発生が予想

（主なマイナス要因）

- ・最大用途のオーディオ向けが飽和
- ・短期的には車載用 LAN 用光 DL も広がりがない

##### ■セキュリティ光源 伸長率（2011年/2006年）：195.5%

（主なプラス要因）

- ・用途製品市場は全体的に堅調
- ・LED 搭載個数が多い静脈認証の市場が拡大

（主なマイナス要因）

- ・投光器内蔵監視カメラ/侵入センサで厳しい単価

#### 医療・画像処理用途

##### ■内視鏡用光源 伸長率（2011年/2006年）：162.1%

（主なプラス要因）

- ・経鼻内視鏡を中心に内視鏡市場は毎年 5%成長が予想されている

（主なマイナス要因）

- ・カプセル内視鏡は小腸、胃等に診察範囲が限定されている

■眼科用医療機器用光源 伸長率（2011年/2006年）：108.1%

（主なプラス要因）

- ・短期的には眼科用機器市場が拡大

（主なマイナス要因）

- ・中長期的には眼科用機器市場は横ばい

■医療用光源（手術灯・診察灯） 伸長率（2011年/2006年）：108.4%

（主なプラス要因）

- ・手術灯が単灯式から多灯式へシフト ・多灯式によりメンテナンスは増加

（主なマイナス要因）

- ・医療施設数が減少傾向で手術灯・診察灯需要は低調の見込み

■画像処理用光源 伸長率（2011年/2006年）：151.4%

（主なプラス要因）

- ・ランプ採用個数の多いLED光源が増加 ・仕向け先である画像処理業界が好調

（主なマイナス要因）

- ・光源のLED化で多種類のランプが低調 ・光源のLED化で単価が下落

## 光化学反应用途

■接着用光源 伸長率（2011年/2006年）：209.0%

（主なプラス要因）

- ・LED方式スポットUV光源装置需要拡大 ・搭載光源個数が増加 ・紫外LEDが大幅に普及 ・高出力紫外LED投入予定で用途拡大

（主なマイナス要因）

- ・LED方式スポットUV光源装置が普及しても、その後の交換ランプ需要が発生しない
- ・紫外LEDの普及でメンテナンス需要が縮小

■洗浄/硬化・乾燥/コーティング用光源 伸長率（2011年/2006年）：109.7%

（主なプラス要因）

- ・環境負荷低減、印刷品質・生産性の向上から、UV印刷のニーズが拡大

（主なマイナス要因）

- ・主用途の液晶洗浄は代替技術である常圧プラズマ表面改質処理技術の採用が増加

■水殺菌/空気殺菌用光源 伸長率（2011年/2006年）：73.9%

（主なプラス要因）

- ・2007年上水場におけるUV殺菌の法律施行

（主なマイナス要因）

- ・代替技術（塩素殺菌/オゾン滅菌/膜濾過）との競合

■露光装置用光源 伸長率（2011年/2006年）：210.2%

(主なプラス要因)

- ・液晶、PDP 等の FPD 分野におけるパネルの大型化

(主なマイナス要因)

- ・光源の高出力化(35kW～)に対する限界

■植物育成用光源 伸長率 (2011 年/2006 年) : 390.8%

(主なプラス要因)

- ・1施設あたりの数量が多い LED 需要の拡大 ・植物工場ビジネスへの新規増加

(主なマイナス要因)

- ・LED 方式の採算性が不透明

#### 自動車用途

■自動車用光源 (外装ランプ) 伸長率 (2011 年/2006 年) : 201.0%

(主なプラス要因)

- ・国内自動車生産台推移が堅調 ・HID 搭載率拡大に伴う 4 灯式の拡大 ・搭載個数の多い LED リアランプ搭載率拡大

(主なマイナス要因)

- ・LED ヘッドランプの技術面での課題 (高輝度化、放熱の問題) 等が十分に解決されていない

■自動車用光源 (内装ランプ) 伸長率 (2011 年/2006 年) : 114.6%

(主なプラス要因)

- ・国内自動車生産台推移が堅調 ・白色 LED の搭載率が高まっている

(主なマイナス要因)

- ・単色 LED は搭載率が高く置き換えの余地が少ない ・車載メーター照明、スイッチ類の白熱電球はほぼ 100%LED に置き換えられている

#### 機器組込用途

■庫内・什器組込照明 伸長率 (2011 年/2006 年) : 124.5%

(主なプラス要因)

- ・用途製品の冷蔵庫で日系メーカーが好調 ・国内販売の冷蔵庫内灯で LED 化の動き

(主なマイナス要因)

- ・用途製品の電子レンジで日系メーカーが苦戦

■アミューズメント機器用光源 伸長率 (2011 年/2006 年) : 115.6%

(主なプラス要因)

- ・LED 搭載個数の増加 ・高付加価値高輝度 LED チップ増加

(主なマイナス要因)

・アミューズメント機器生産台数推移が低調

#### 4-3-2-2. 一般照明

4-3-1で分類した一般照明に関して調査資料<sup>4-2)</sup>を参考にし市場規模の推移や光源別市場構成などを分析した。一般照明の市場規模の推移を図4-16に、光源別市場規模の比較を図4-17に、用途別市場構成(金額ベース)を図4-18に示す。

【一般照明市場規模推移】

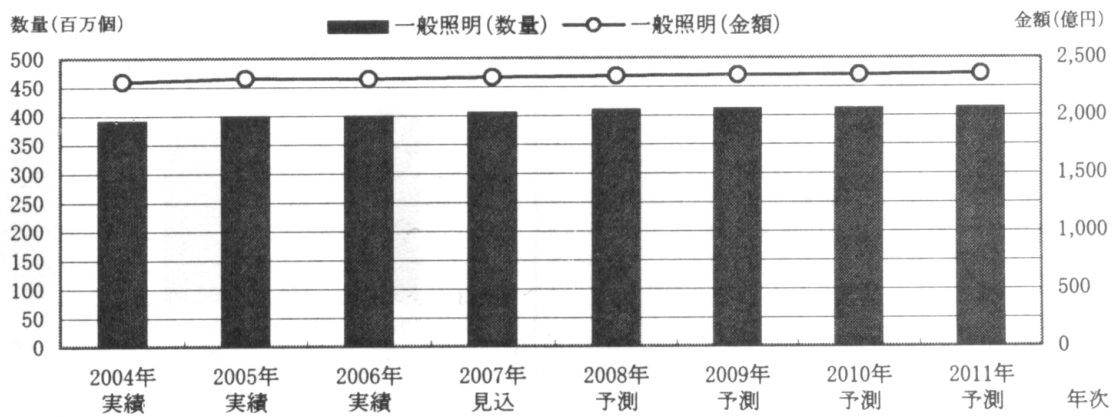


図4-16. 一般照明市場規模推移

(出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007年度版』)

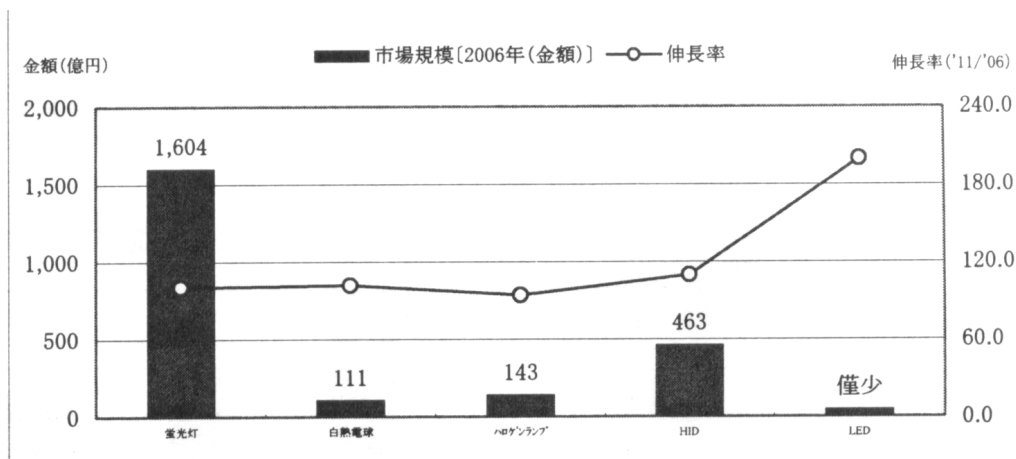


図4-17. 光源別市場規模比較

(出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007年度版』)

【用途別市場構成・金額ベース】

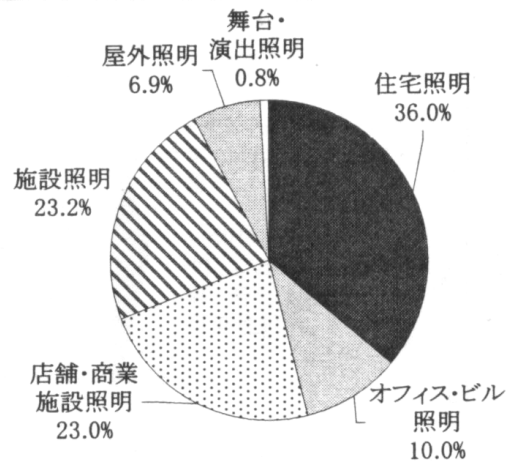


図 4-18. 用途別市場構成（金額ベース）

（出所：『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007 年度版』）

図 4-16 からわかるように、一般照明市場規模は 2005 年、2006 年の伸長率は金額ベースでそれぞれ 101.3%、99.8%でほぼ横ばいであった。また、2011 年までの市場予測では伸長率は、毎年 100%程度の伸長率で同じく横ばいで安定に推移すると見込まれている。

2006 年実績を光源別に見ると金額的には蛍光灯が他光源に比べて大きくリードしている。しかし、2011 年時点での伸長率の予測では、蛍光灯、白熱電球、ハロゲンランプはほぼ横ばいであるのに対し、HID ランプは 115%程度の成長、白色 LED は 210%程度の大きな成長が見込まれている。（図 4-17）。

HID ランプは省エネ・高演色のセラミックメタルハライドランプの登場により、店舗向けスポットライト・ダウンライトで需要が急拡大している。セラミックメタルハライドランプは水銀灯、高圧ナトリウムランプに代わる HID ランプの代表的光源への成長が期待されている。店舗以外にも工場・倉庫等の施設照明、オフィス・事務所への用途展開が見込まれている。

白色 LED は次世代光源の有力候補であり、店舗用スポットライト・ダウンライト等、一部店舗での採用にとどまっていたが、将来的には蛍光灯の置き換えが期待されている。

用途別市場構成（金額ベース）は一つの用途が大きく占めることなく比較的バランスよく市場構成になっている。（図 4-18）

つぎに、一般照明の用途別市場の動向予測（数量ベース）をまとめた。

■住宅照明 伸長率（2011年/2006年）：110.9%

（主なプラス要因）

- ・リフォーム需要が拡大
- ・1世帯あたりの使用光源本数が増加

（主なマイナス要因）

- ・住宅新設の低迷が懸念

■オフィス・ビル照明 伸長率（2011年/2006年）：90.9%

（主なプラス要因）

- ・Hf 蛍光灯の需要が増大
- ・既存灯具の大幅な更新需要発生の可能性はある

（主なマイナス要因）

- ・1事務所の照明器具設置数減少の可能性はある
- ・事務所着工数減少の可能性はある

■店舗・商業施設照明 伸長率（2011年/2006年）：101.0%

（主なプラス要因）

- ・エンドユーザとなる店舗数推移が堅調
- ・高効率セラミックメタルハライドランプ  
需要拡大

（主なマイナス要因）

- ・エンドユーザとなる店舗数推移に影響エンドユーザのパイ縮小の可能性はある

■施設照明 伸長率（2011年/2006年）：93.9%

（主なプラス要因）

- ・工場・倉庫等の高天井に高演色・高効率メタルハライドランプの採用数増加

（主なマイナス要因）

- ・エンドユーザのパイ縮小の可能性はある

■屋外照明 伸長率（2011年/2006年）：97.9%

（主なプラス要因）

- ・道路・トンネル等の高欄に設置される低位置照明（蛍光灯）の需要拡大

（主なマイナス要因）

- ・公共事業の縮小に伴い、全体的に道路照明の設置数減少

■舞台・演出照明 伸長率（2011年/2006年）：99.5%

(主なプラス要因)

- ・店舗向けロゴ投影等に使用されるムービングライト需要が拡大

(主なマイナス要因)

- ・市場規模が小さい舞台照明装置市場に左右される

表 4-1 に 2006 年の日本国内における一般照明の光源別売り上げ数量の実績データを示したが、2011 年予測も加えて再度表 4-3 に示す。

表 4-3. 日本国内の一般照明市場規模 (2006 年実績と 2011 年予測)

(出所:『光源/照明市場 実態・技術・予測 2007 年度版』)

<光源別・用途別の数量と構成比>

単位:千個

		2006年実績		2011年予測	
光源	用途	数量	構成比	数量	構成比
白熱電球	住宅用	95,600	23.9%	104,500	25.2%
	店舗用	5,060	1.3%	5,500	1.3%
	施設用	5,640	1.4%	4,750	1.2%
<b>小計</b>		<b>106,300</b>	<b>26.6%</b>	<b>114,750</b>	<b>27.7%</b>
ハロゲンランプ	店舗用	18,250	4.6%	17,800	4.3%
	施設用	1,700	0.4%	1,590	0.4%
	舞台用	170	0.0%	143	0.0%
<b>小計</b>		<b>20,120</b>	<b>5.0%</b>	<b>19,533</b>	<b>4.7%</b>
電球形蛍光灯	住宅用	14,700	3.7%	18,250	4.4%
	店舗用	4,250	1.1%	4,650	1.1%
	施設用	4,020	1.0%	4,100	1.0%
直管蛍光灯	事務所用	36,400	9.1%	32,000	7.7%
	施設用	59,600	14.9%	55,000	13.3%
環形蛍光灯	住宅用	83,600	20.9%	92,500	22.3%
	事務所用	600	0.1%	530	0.1%
蛍光灯	舞台用	121	0.0%	143	0.0%
コンパクト蛍光灯	住宅用	5,300	1.3%	5,680	1.4%
	事務所用	4,300	1.1%	5,000	1.2%
	店舗用	7,400	1.8%	8,130	2.0%
	施設用	4,800	1.2%	4,900	1.2%
	屋外用	1,880	0.4%	1,810	0.4%
<b>小計</b>		<b>263,871</b>	<b>65.8%</b>	<b>268,493</b>	<b>64.8%</b>
HID	店舗用	2,800	0.7%	3,550	0.8%
高圧ナトリウムランプ	施設用	500	0.1%	520	0.1%
	屋外用	740	0.2%	700	0.2%
水銀ランプ	屋外用	700	0.1%	630	0.1%
メタルハライドランプ	施設用	4,700	1.2%	5,200	1.3%
	屋外用	1,040	0.2%	1,130	0.3%
	舞台用	14	0.0%	17	0.0%
<b>小計</b>		<b>10,494</b>	<b>2.6%</b>	<b>11,747</b>	<b>2.8%</b>
<b>合計</b>		<b>400,785</b>	<b>100.0%</b>	<b>414,523</b>	<b>100.0%</b>

表 4-3 から白熱電球・蛍光灯は他光源に比べて売り上げ数量において、2006 年時点も 2011 年でも他光源を圧倒していることがわかる。

#### 4-4. フィールドエミッションランプ (FEL) による事業機会の考察

4-3の照明産業の市場調査を結果から、白色LEDやセラミックメタルハライドランプなど新しい光源の出現、あるいは高性能化によって照明市場の構成が変わりつつある段階にきていることがわかった。特に特殊光源の分野ではLEDの台頭でセンシング用途、光化学反应用途などは売り上げ構成に変化が見られている。また自動車分野ではヘッドランプでハロゲンランプからキセノンランプへのシフトが進んでいる。一般照明の分野では、LED照明やセラミックメタルハライドランプの導入が期待されており、それらへのシフトは急速に起きると予想されている。しかし、2007年時点で予測した2011年の市場規模では相変わらず、数量ベースでは、蛍光灯と白熱電球が全体の大半を占める予測がなされている。

また、照明産業の調査を通じてより明確になったのは、照明産業全体での数量は蛍光灯、白熱電球が圧倒するものの、ある分野に特化して調べるとキセノンランプ、高圧水銀ランプなど多種多様のランプが多く使われており、今後もほとんど横ばいの売り上げ数の予測がなされている場合が多いことである。一般に産業界では既存技術は成熟し、やがて新技術によって駆逐されるサイクルが存在する。例えば、テレビ産業では、モノクロCRTからカラーCRTに変わり、現在では液晶テレビやプラズマテレビなどのフラットパネルディスプレイに置き換わっており、やがてカラーCRTも無くなるか、少なくとも新規購入はほとんどなくなるであろう。しかし、照明産業では、今後も多種類のランプは共存しつづけるものと思われる。図4-19に性能指数の違いにより各光源のポジショニングが変化することを示している。

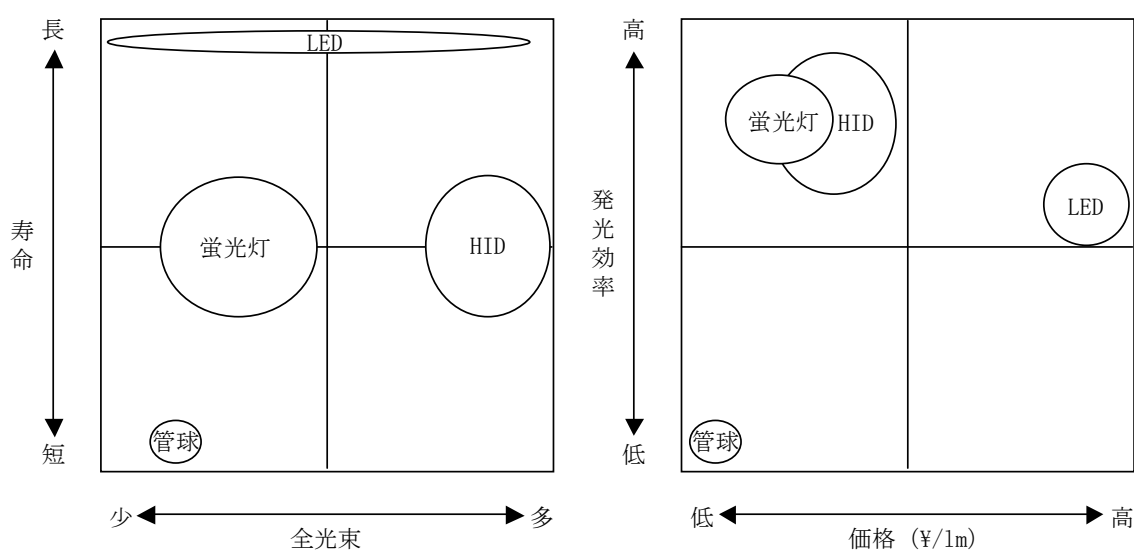


図 4-19. 性能指数の違いによる各光源のポジショニングの変化



屋外照明には、水銀灯、ナトリウムランプ、メタルハライドランプなどの HID ランプが多く使用されているが、図 4-19(左)から HID ランプは他光源に比べて全光束量が大きく、寿命も高レベルにあることがわかる。屋外照明の多くが、高光量が必要で、メンテナンスフリーが望まれているので HID ランプの採用率が高いことがうなずける。

一方、住宅向けや店舗向けの照明には、低価格や高発光効率などが求められている。図 4-19(右)から判断すると、住宅向けや店舗向けの照明は蛍光灯や HID ランプになるが、実際の販売数量実績では HID ランプではなく白熱電球であることがわかる。この逆転の主な原因は、白熱電球が他光源よりも圧倒的に低価格であることに加え演色性に優れており、高演色性は住宅向けや店舗向け照明の要求性能の一つであるためと考えられる。

照明産業は、白熱電球のようにある性能に秀でたランプを受け入れる土壌があるので、まだすべての性能が完全でなくてもある性能では既存光源より優れているような新光源の事業創出にとって絶好の産業分野であると考えられる。このことは、クレイトン・クリステンセンが「イノベーションへの解」<sup>4-5)</sup>の中で述べている「性能尺度」の概念を用いると照明産業には多様な性能尺度が存在すると解釈できる。表 4-4 に用途別に光源に求める性能が異なることの一例を示す。

表 4-4. 用途別で重視される光源の性能の違い

用途	重視される光源の主な性能
施設照明	・高輝度、長寿命が重視される。 ・工場照明では、安全性、作業性、快適性から高演色性が求められる。
住宅照明	・長寿命、省エネが重視されるが、コストも重要である。
店舗照明	・ファッション小売店、生鮮食品店等では高演色性が最も求められる。
手術灯	・手術中のランプ切れを避けるため光源の長寿命が求められる。 ・手術中に動脈、静脈が見分けにくく、光源には高演色性が求められる。
産業用回転・信号灯	・高輝度と低コストが重視される。

このように照明産業では、用途に応じた多様な性能尺度があり、その性能尺度に適した光源が普及している。また、4-2 で述べたように照明産業は変革期にあり、ビジネスチャンスが多い。特に世界各国が発表している白熱電球の製造・販売中止のインパクトは大きい。白熱電球は表 4-3 からわかるように 2006 年販売数量実績でも 2011 年販売数量予測でも一般照明全体の販売数量の 25%以上を示す大きな市場需要があり、他光源にとっては白熱電球の代替は非常に魅力的である。

FEL についての詳細は本論文の附録で述べるが、FEL の主な特長は以下に示す。

①水銀不使用である。②高い発光効率(1m/W)が期待出来る。③高輝度(10 万 cd/m<sup>2</sup>以上可能)である。④低発熱発光である。⑤瞬時点火性を示す。⑥高い演色性をもつ。⑦長寿命(現在のところ、1 万時間以上可能)である。⑧非点光源で、目に優しい発光である。I⑨高い調光性をもつ。⑩広い使用温度範囲である。⑪真空(10<sup>-2</sup>~10<sup>-4</sup>Pa)内動作である。⑫高電圧(3kV~10kV)駆動である。

これらの特長を生かした FEL のアプリケーション分野は図 4-20 の分野が考えられる。

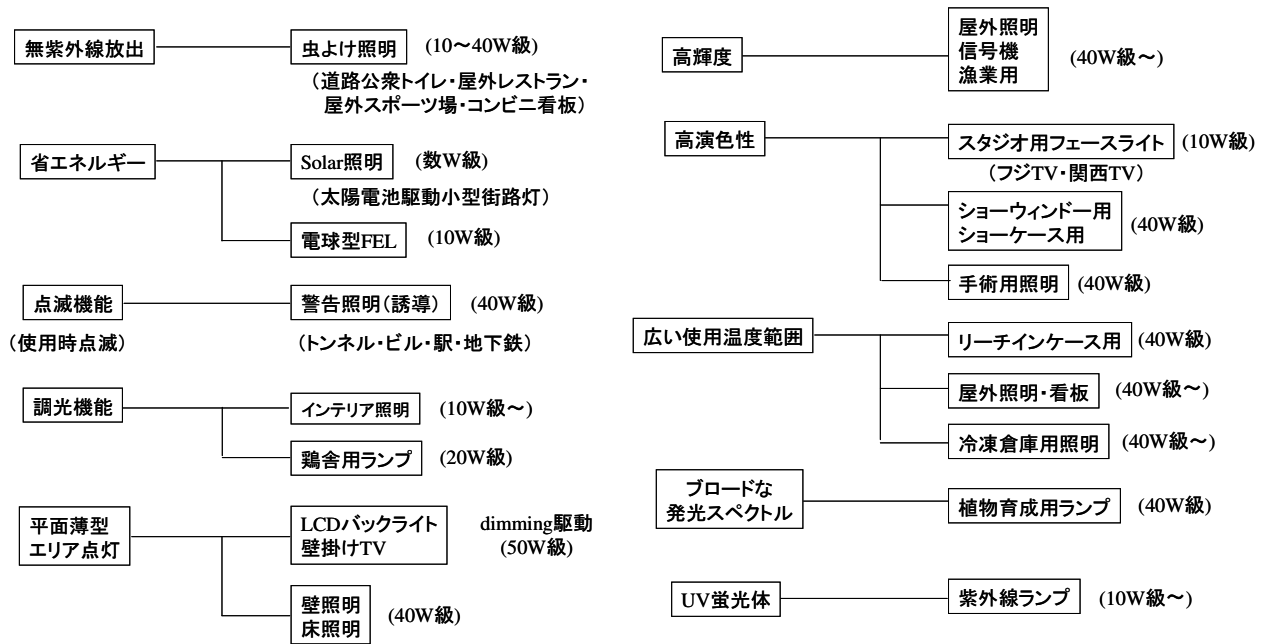


図 4-20. FEL の特長を生かせるアプリケーション分野

このように、FEL の特長を活かせる分野が照明産業には多く存在し、しかも照明産業が変革期にあることから FEL の事業機会があると考えられる。

しかし、FEL が事業機会を創出していくにあたって、FEL と大きく競合すると考えているのが白色 LED である。図 4-20 の FEL の特長を生かせるアプリケーション分野は白色 LED が進出しているあるいは進出しようとしている分野と重なる部分が多いからである。ダイアライトジャパンが設立した 2004 年当時には、LED 照明は次世代照明として注目はされていたが、有力候補の一つに過ぎなかった。しかし、現在では、蛍光灯に代わる第 4 世代のあかりとしての普及を目指す世界各国の企業や研究機関が研究開発・商品化に取り組んでおり、日本においては、国家プロジェクト「21 世紀あかりプロジェクト」として強力に推進され、多くの企業・大学・研究機関が LED の研究開発および用途開発を行なっている。LED 照明はまさに照明産業における破壊的技術であり、研究軌道・開発軌道を経て普及軌道に入る一歩手前の状態である。

LED はもともと、赤色 LED の商品化から始まり、軽量・小型で低消費電力であることを生かして機器などのインジケータとして主に用いられてきた。その後、LED の高出力化に伴い用途を拡大していき、プレゼンテーションなどで使われるポインターなどから、民生向けのデジタルオーディオ、DVD プレイヤー用など、FA 向けでは NC 工作機械などの光データリングに実装される光源として用いられている。光データリング用途では、現

在赤色 LED、赤外 LED を合わせると市場を独占している。青色 LED が開発され、赤・緑・青 3 原色の LED が揃い、白色 LED の商品化が可能となり、照明分野へとさらに用途拡大を進めている。照明分野に参入してターゲットにしたのは、LED の特長の軽量・小型で低消費電力であることを生かせる携帯電話用バックライトやカメラのライト/フラッシュなどであった。(高輝度や長寿命などの特長を生かした交通信号灯用光源など他の分野にも進出しているがここでは割愛する。) 現在では携帯電話用バックライトでは白色 LED のほぼ独占状態になっている。バックライト分野では、さらに PC 用、液晶テレビ用途へと拡大を図っている。

そして、LED の更なる高出力化に伴い一般照明分野への進出を推進したのが前記の「21 世紀あかりプロジェクト」である。図 4-21 に一般照明に進出するために重要になる特性である発光効率についてのロードマップを示す。

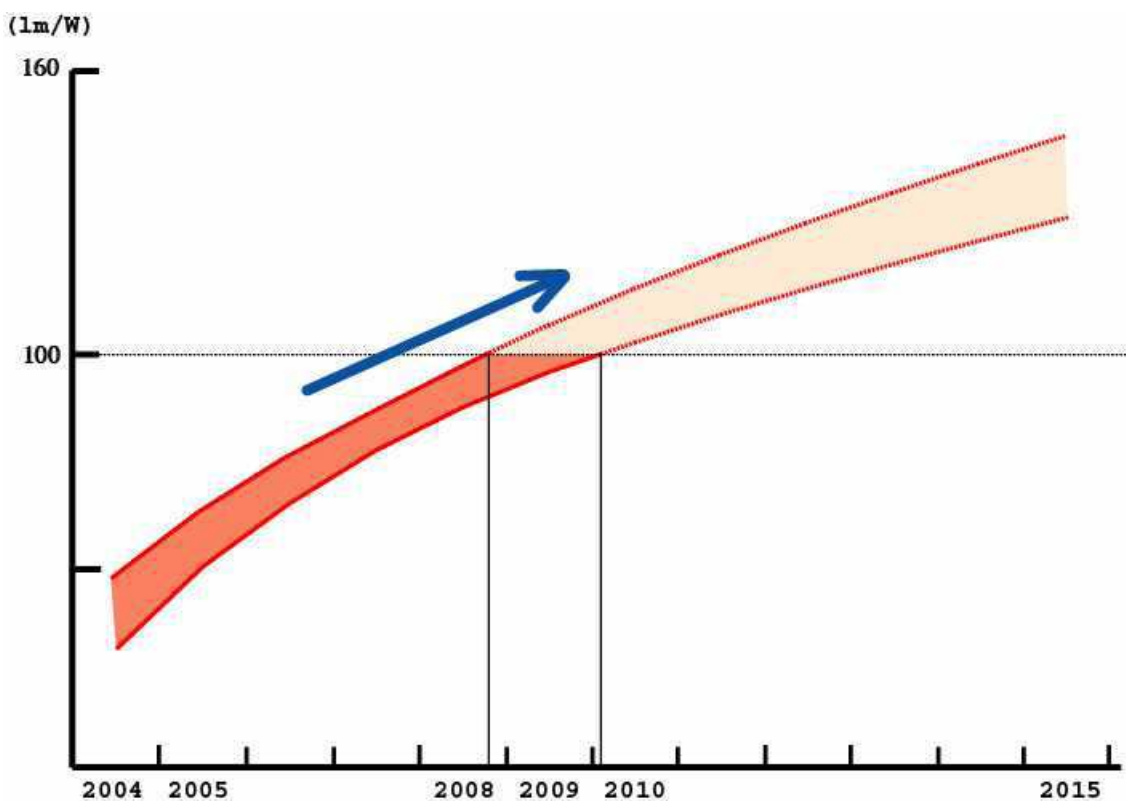


図 4-21. 白色 LED の発光効率に関するロードマップ  
(出所：インターネット検索より)

このロードマップは LED 照明としてではなく LED チップとしての発光効率のロードマップを示しているが、LED チップの発光効率はロードマップにほぼ沿った推移を示している。このことは著者らにとっては非常に脅威であり、LED 照明を目指す企業や関係者にとっては前途有望である。

ここで、現状の LED 照明の主な長所をあげてみると以下のようなになる。

(主な長所)

- 長寿命 (一般的には、40,000 時間以上と報告されている。)
- 低消費電力・低発熱
- 高輝度
- 軽量・小型・丈夫で多様なデザイン設計可能
- 調光可能
- 瞬時点灯性
- 高周波パルス発光が容易 ( $1\mu\text{s}$  程度)

上記のように LED 照明は多くの長所を有し、これまでこれらの特長を生かした分野で普及している。例えば、長寿命の特長を生かして、メンテナンス費用が高く、メンテナンスフリーが望まれる高所に設置する広告灯などには LED が多く使われている。高輝度の特長を生かした LED 交通信号灯の普及は有名である。小型・軽量の特長を生かしたデザイン照明も多く出回っている。そして、まだ研究開発段階であるが高周波パルス発光可能の特長を生かした光通信の開発が進められている。

しかし、LED を家庭用などの一般照明として普及させるにはこれまでと少し様子が異なる。

一般照明として普及させるのに必要な主な性能を以下に示す。

- 省エネルギー (高発光効率、長寿命)
- かなりの光量
- 低コスト
- 高演色性

上記関点から考えると LED が点光源である弊害が浮かび上がってくる。

照明に求められる光量を LED が出すには、光量の少ない LED チップを多数用いて光量を得るか、あるいは光量の多い LED チップを少数用いて光量を得るかのどちらかが現状行なわれている。広告灯などはスペースが十分あるので前者の方法で光量を得ているのが一般的であるが、一般照明は概して省スペースが求められるため、一般照明用の LED 照明では後者の方法で光量を得ようとするのが主流になると考えられている。光量の多い LED チップを高出力 LED と呼んでいるが、高出力 LED を採用するにはこれまで以上の付帯部材の綿密な設計が重要になってくる。LED は半導体であり、その特性は熱に敏感であり、接合温度と呼ばれる LED の pn 接合部の温度が上昇すると、LED の特性 (発光効率や寿命) が悪化する。そのため LED は接合温度を一定温度以下に保つ必要があり、現在接合温度は LED の種類にもよるが  $100^{\circ}\text{C}$  以下に保つ設計がなされているはずである。高出力 LED は高出力がゆ

えに大光量の光を放出すると同時に多量の熱が発生するため接合温度が容易に上昇するため、性能を維持するための放熱構造がなされている。にもかかわらず、高出力 LED の発光効率や寿命特性は、通常出力の LED の特性に比べて相当悪いことが知られている。

LED 照明は蛍光灯の代替として容易に普及すると考えられている感があるが、少なくとも現状では、蛍光灯の代替ランプとして普及するには更なるブレイクスルーが必要ではないかと考えている。また、LED は白熱電球の代替品としてスポットライト用途などで広く普及するが、蛍光灯の代替品としては有機 EL 照明が本命であるとの考えも多くある。

以上の考察から、LED 照明は FEL にとって脅威であることは変わらないが、決して対抗できない相手ではないと考える。現状の完成度は LED 照明が FEL の上を行くが、いかに早く市場を押さえるかが重要となり、FEL の製品開発のスピードアップが鍵になると考える。

#### 4-5. まとめ

本研究の対象事業分野である照明産業の調査をした結果、一般照明市場の中でも住宅用・事務所用や店舗用照明などは巨大だが技術（蛍光灯、白熱電球）・企業（これまで記載してなかったが東芝系、パナソニック系など大手メーカー）ともに寡占化しており、今後は LED 照明や有機 EL 照明などへの移行が始まるとの予測がされている。一方、一般照明や特殊光源分野のニッチ市場の規模は住宅用照明等と比較すると小さいが多岐にわたっており、FEL の現状性能でも参入できる可能性を秘めている。FEL の技術が完成すれば、住宅用や店舗用照明などの巨大市場に参入できるが、今すぐの参入は難しいと考えている。しかし、参入が遅れすぎると LED 照明や有機 EL 照明が市場を食いつぶしていくことが予測されるので、一刻も早く FEL 技術の完成をさせ、市場獲得争いに加わる必要がある。

## 第5章 米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践その1. 技術開発

### 5-1. 基本方針

第2章にてレビューしたベンチャー経営論に沿って、著者らも、成功時の産業的インパクトの大きな技術開発として、従来の蛍光灯照明をすべて置き換えるような、低消費電力の照明としてナノカーボン電子エミッタを用いたFELを提案し、その事業化を行うこととした。成功時の産業規模をなるべく大きなものとして捉えるため、従来の蛍光灯を一気にすべて置き換えてしまうようなイノベーションを目指し、ベンチャー経営を行っていくこととした。

著者らのナノカーボンエミッタ研究の起源は大阪大学名誉教授・高知工科大学名誉教授である平木昭夫教授（現大阪大学特任教授）の研究成果である「人工ダイヤモンド低温作製技術」に由来することから、著者らのベンチャー企業は大学発ベンチャーの範疇に入る。大学の研究成果を継承した著者らのナノカーボンエミッタは、設立当時から世界有数の電子放出特性を示していた。また、筆者を含めて3人の研究者が前職の国家プロジェクト（名のカーボンエミッタの研究開発）から引き続き研究開発を実施することになったことで、技術優位性を維持できると踏んだので、No.1の技術力に立脚したナノカーボン創出企業を目指した。

### 5-2. FELのポジショニング分析

とはいえ、設立当時はコア技術のナノカーボンエミッタが、まだ基礎研究の段階であったこともあり、ナノカーボンエミッタのアプリケーションとしてのFELを作製した経験もあまりなかった。本来の方針からすると、一般照明で事業展開していくのが常道策ではあるが、一般照明は建築工事の範疇に入り、流通階層が多く薄利な上、いくつかの規格をパスする必要があり、新規ランプにとって参入障壁が高い産業である。一方、設立当時の2004年ころには液晶モニタ、液晶TVが順調に売り上げを伸ばしていたことから液晶用バックライトが非常に好調であった。特に液晶TV用バックライトでは平面光源の出現が望まれていた。そこで、近い将来のターゲットとして全世界で莫大な市場が広がっている液晶TV用バックライト分野を視野に入れ始めた。

表5-1はFELとバックライト用途の他光源との特性比較表である。これからわかるのは、バックライトにFELを用いると液晶TVの消費電力が他の光源を用いるより低くなることである。これは当時液晶TV用バックライトのほぼ100%シェアであったCCFL（冷陰極蛍光ランプ）を使うよりも消費電力が低いという画期的なデータである。（このデータは後に間違いであったことに気づき愕然とした）

また、平面 FEL にすることで CCFL のように管型ランプを用いる際に必要な拡散板や拡散フィルムといった部材が不要になるためコストメリットが出てくるといった非常に有力なバックライトになりうるものであった。

ここで、FEL のポジショニング分析を行い、他光源とのポジショニングの比較を視覚的に行なった。(図 5-1)

表 5-1. FEL と他光源との特性比較

他方式光源との性能比較 (32型バックライト換算)					
光源の種類	消費電力 [W]	効率 [lm/W]	輝度 [cd/m <sup>2</sup> ]	応答速度	寿命 [hr]
CCFL	110	50	12,000	10~15ms	>50,000
白色LED	185	30	9,500	数十ns	>50,000
FEL	85	80	15,000	100 μs	>50,000

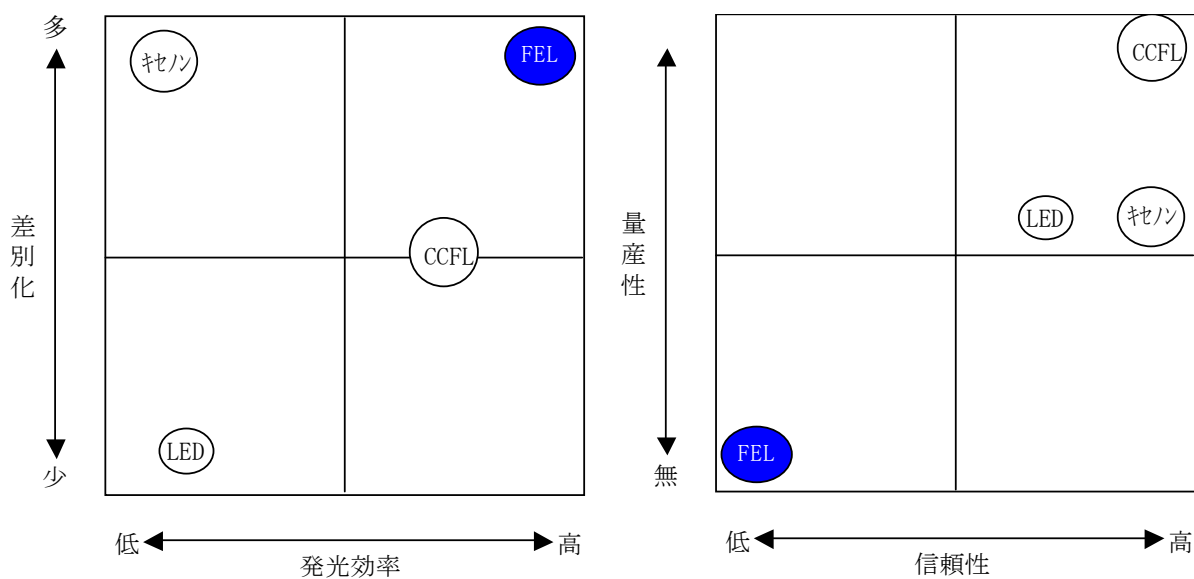


図 5-1. 液晶 TV 用平面 FEL バックライトのポジショニング分析

図 5-1(左)は発光効率と平面ランプとしての差別化を性能指標に、(右)は信頼性と量産性を性能指標にのびのびのポジショニング分析であるが、FEL は(左)は最高のポジショニングであり、(右)では最低のポジショニングである。ただし、設立当時は、FEL をほとんど試作したことがない状態であり、信頼性や量産性がないのは当然のことであり、FEL は今後信頼性と量産性を向上させれば、完全に他のランプを凌駕する可能性が示唆された。

### 5-3. ターゲット分野

著者らの技術ベンチャーのコア技術であるナノカーボンエミッタの応用分野を図 5-2 に示す。

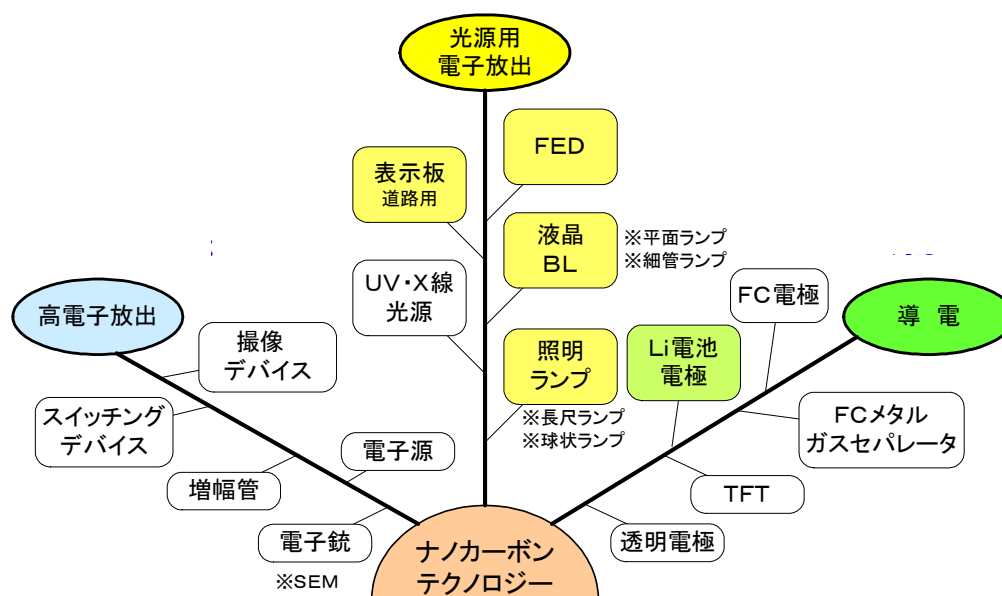


図 5-2. コア技術ナノカーボンの応用分野

ナノカーボンの2大特性である電子放出能と導電性を活かした分野や高比表面積を有する特長を活かした分野(リチウムイオン二次電池用電極)などへの応用展開が考えられる。ただし、市場性、実現困難性、現状性能、人員などの総合的判断から、以下の2分野をターゲットとした。この中で特に市場規模、成長性を加味して液晶 TV 用バックライト用平面 FEL を最優先ターゲットとした。

- (ア) FEL (液晶 TV 用バックライト、一般照明)
- (イ) 電子源・X線源デバイス



#### 5-4. 競合光源の動向予測

ベンチャー設立時に競合光源として調査したのは、CCFL、LED、キセノン平面ランプ、EEFL（外部電極型蛍光ランプ）であった。

主流のCCFLはそれほど特性の向上は望めない予測をし、キセノン平面ランプは平面というメリットはあったが発光効率の向上があまり望めないと予測した。EEFLは外部電極型の特長を活かした長寿命に魅力はあったが、CCFLより効率が悪いことコストの面で大勢に影響をないと予測した。LEDは当時、発光効率が低く、コストが高いことですぐには普及しないと予測したが、気になる点があった。それはその応答速度の速さであった。この当時、研究段階ではあったが、LEDによるローカルエリア制御バックライト技術と呼ばれる次世代バックライト技術の話題が出始めていた。これはLEDの応答速度の速さを利用したもので、この技術が完成し、世に出るようになると液晶TV用バックライトの勢力図を一変する可能性を秘めている技術である。

一方、5-2で示したように平面FELのポジショニング分析から平面FELは現時点では未完成であるが、そのポテンシャルは、他のどの光源を凌駕しており、競合光源の動向を気にしすぎるよりも平面FELの一刻も早い完成に向けて取り組むべきであると考えた。

#### 5-5. Jカーブ型技術戦略策定

技術ベンチャーが直接液晶TV用バックライト市場のように巨大かつ成長市場に最後まで単独で勝負していくのはまずありえなく、事業の最終段階では、技術ないし事業そのものを商品化を担う製造系大企業などに売却することを念頭におき、開発段階での試作外注先などとの提携、あるいは大学などとの共同研究等を進める方針とした。そして、著者らはコア技術であるナノカーボンエミッタの開発に注力し、連携先と一丸になって取り組んではじめて、大きな事業利益を出しうるJカーブ型ベンチャー経営の成功があると考えた。

このような中、ビジネスモデルは、やはりベンチャーという立場を考慮して、生産設備などの大きな固定費を持つことは避け、必要最低限の研究開発機器で知的財産権を産出し、知的財産権そのものを商品とすることで、事業全体のリスクヘッジを図るというものを考えた。特に、成長が著しく、かつ競争の激しいフラットパネルディスプレイ業界において液晶テレビ用平面バックライト製品の生産設備を保有し事業化することは大きな経営リスクであり、マーケットのスピードに追いつけないこととなるため上記ビジネスモデルを進めることにした。

収益に関しては、ライセンス料を主な収入とし、「イニシャルロイヤリティ」と「ランニングロイヤリティ」をライセンス先から徴収することとした。そして、「イニシャルロイヤリティ」を取ることで早期に資金回収を図ることを考えた。

また、上記のように外部との連携なしにはJカーブ型ベンチャー経営の成功はありえないので、パートナー獲得のために展示会や学会に積極的に参加した。特に効果があったのは、設立から半年後に世界各国のフラットパネルディスプレイ業界の関係者が一同する展示会(FPD international 2004)に出展したことであった。LCD用バックライト用の新光源FELの試作品を展示したことが話題となり好評を得た。図5-3に FPD international 2004での展示風景を示す。また、展示会後に業界誌に載った記事を図5-4に示す。



図 5-3. FPD international 2004 での展示風景

**SPECIAL FEATURE EXHIBITION**

上のガラスカレット除去にも応用展開できるのではないだろうか。

**バックライトでLEDカラーが登場**

CEATECに続きTFT-LCDではLEDバックライトの動向に注目が集まったが、そんなLEDもウカウカとしていられない新技術がダイヤライトジャパンからお目見えした(写真31)。カーボンナノウォール(CNW)を用いたワールドエミッション(FE)型バックライトで、輝度は32型換算で1万5000cd/m<sup>2</sup>をマーク。電光効率80lm/W、消費電力は65Wと高輝度、低消費電力が魅力だ。

写真32、33は平本昭夫教授(高知工科大学)の研究をベースにダイヤライトジャパンが試作したもので、Siのフィラメントに垂直蒸着したCNW装置でCNWを成長。受光体を撤去したガラス管あるいはガラス基板で真空封入するだけのシンプル構成が最大の特徴。試作段階であるため今は大柄な印象を受けるが、シンプル構造だけに小型化・薄型化も容易にできると思われる。7kVと駆動電圧の高さが課題であるが、電界集中型エミッタの開発を進めることで、今年中に3kV、最終的には1kVの低電圧駆動を目指すとのこと。ダメでは直視できないくらいまぶしい白色光を放っており、LEDカラーとして十分なポテン

シャルを持っている。ただ、気がかりな点として色味の階層がある。RGBのLEDバックライトの色再現性にどこまで対応できるかが注目される。

**日本板硝子がエッチングガラスキャップを**

有機ELD用部材でもEol's VIEWがいくつかあった。まずは日本板硝子。同知のように、子会社のエス・エス・ジー・プレジジョンは独自の加工成型法で作製した有機ELD用ガラスキャップをTOKへ供給しているが、今回はウェットエッチング法で加工したガラスキャップも展示した。DPR(Dライフィアルミレジスト)をガラス基板にラミネートした後、

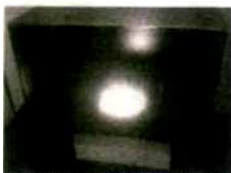


写真31 FE型バックライト(ダイヤライトジャパン)



写真32 フラットタイプFEバックライト(ダイヤライトジャパン)



写真33 チューブタイプFEバックライト(ダイヤライトジャパン)

図 5-4. 業界紙に載った記事

そして、ダイヤライジャパンが構築した外部企業、研究機関、大学との連携関係を図 5-5 に示す。

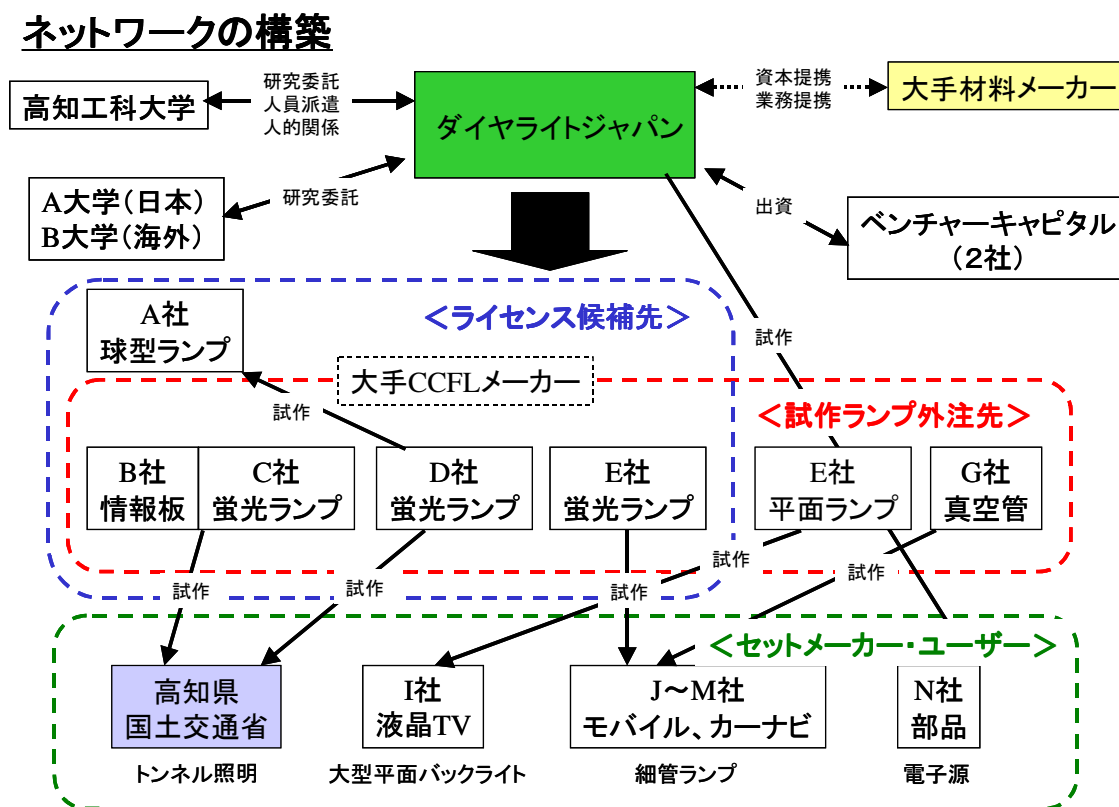


図 5-5. 外部企業、研究機関、大学などとの連携関係

## 第6章 米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践その2. 事業実践

### 6-1. ダイヤライトジャパン株式会社の設立

著者自身のはじめての起業実践について、設立から倒産に至った経緯をできるだけ詳細に述べる。

#### (1) 組織

著者らが米国型Jカーブ型ベンチャーとして起業実践したダイヤライトジャパン株式会社は2004年5月に大阪で設立された。会社設立の1年前の2003年4月よりスタートした国家プロジェクト高知県地域結集型共同研究事業「次世代情報デバイス用薄膜ナノ技術の開発」で筆者らは研究員としてFELの基礎研究を始めていた。この国家プロジェクトは、通常のプロジェクトとは趣が少し違い、研究の成果が出ればどんどんそのプロジェクトから独立して、基本的にはプロジェクトが行われている地域（今回なら高知県）で起業して地域の活性化を促すことを目的とする、米国の大学発ベンチャー誕生にやや近い研究事業であった。この研究事業は5年間のプロジェクトであったが、開始1年後の2004年4月にその研究成果を事業化させるために技術ベンチャー企業ダイヤライトジャパン株式会社を研究シーズの発明者である平木昭夫教授（大阪大学名誉教授・高知工科大学名誉教授、現大阪大学特任教授）が中心となって設立した。設立と同時に筆者を含めこのプロジェクトの3名の研究員がダイヤライトジャパン(株)に移籍した。

設立当時のメンバーは、平木教授が会長に、平木教授と古くからの研究仲間が社長に就任し、主として財務・営業などを担当する副社長、著者ら技術者3名の計6名である。（2名の個人大株主らは会長などに就任し会社を支えていただいていた。）

経営体制としては大学教授（平木昭夫教授）のみではなく企業人および実業家を経営の中核に置くことで事業運営マネージメントの強化・リスクマネージメントの整備を視野に入れた経営を運営していった。とはいえ、社長は大手重電メーカーの研究所の所長を勤めていた優秀な研究者で、技術者の2名はともに中国出身の博士であり、ダイヤライトジャパン株式会社は技術者集団としての色彩が強かった。

#### (2) 事業内容

主な事業内容は、以下の3つであった。

- ① ナノカーボン材料およびその製法に関する研究開発
- ② フィールドエミッションランプ等、電界電子放出特性を利用した用途開発
- ③ 上記技術・ノウハウおよび特許等のライセンス供与

既に5-5で述べたがビジネスモデルは、生産設備などの大きな固定費を持つことは避け、

必要最低限の研究開発機器で知的財産権を産出し、知的財産権そのものを商品とすることで、事業全体のリスクヘッジを図るというものであった。特に、成長が著しく、かつ競争の激しいフラットパネルディスプレイ業界において液晶テレビ用平面バックライト製品の生産設備を保有し事業化することは大きな経営リスクであり、マーケットのスピードに追いつけないこととなるため上記ビジネスモデルを進めることにした。経費・必要資金の大半は、人件費が占め、つぎに特許出願等の費用、研究設備導入費のウエートが高くなると想定していた。

収益に関しては、ライセンス料を主な収入とするが、「イニシャルロイヤリティ」と「ランニングロイヤリティ」をライセンス先から徴収することとした。そして、「イニシャルロイヤリティ」を取ることで早期に資金回収を図っていた。

### (3) 外部連携

既述の FPD international 2004 への出展を契機に外部との交渉が活発となり、特に日本の LCD の大手メーカーへの評価用サンプルの提出が始まり、その関係はダイヤライトジャパンが倒産するまで続いた。また、その後ダイヤライトジャパンに出資していただいた大手金属メーカー A 社と本格的に交渉段階に入ったのもこの展示会への出展が契機となった。

A 社からの出資を受け、同社から研究者を 1 名派遣していただく協力を得たことにより、研究開発体制の強化や事業スキームの強化が図れた。その時点では未定な部分が多くあったが、A 社との合弁で平面 FE バックライトなどの基幹部品であるナノカーボンエミッタの製造・販売会社の設立の構想案が非公式ではあったが計画されていた。ダイヤライトジャパンとしては、ナノカーボンエミッタの製造・販売に関して A 社にライセンスすることとなり、A 社からのロイヤリティ収入が発生し、さらにランプメーカー等に平面 FE バックライトの構造・電源等に関するライセンスを行ってメーカーからロイヤリティを徴収するスキームを想定していた。ダイヤライトジャパンのナノカーボン成膜技術と A 社の基盤技術（製造技術）および中間技術（生産技術・装置制御技術など）を合体させ事業化の重要要素であるナノカーボンエミッタの生産体制の整備を図っていた。

ダイヤライトジャパンの外部連携事業スキームを図 6-1 に示す。

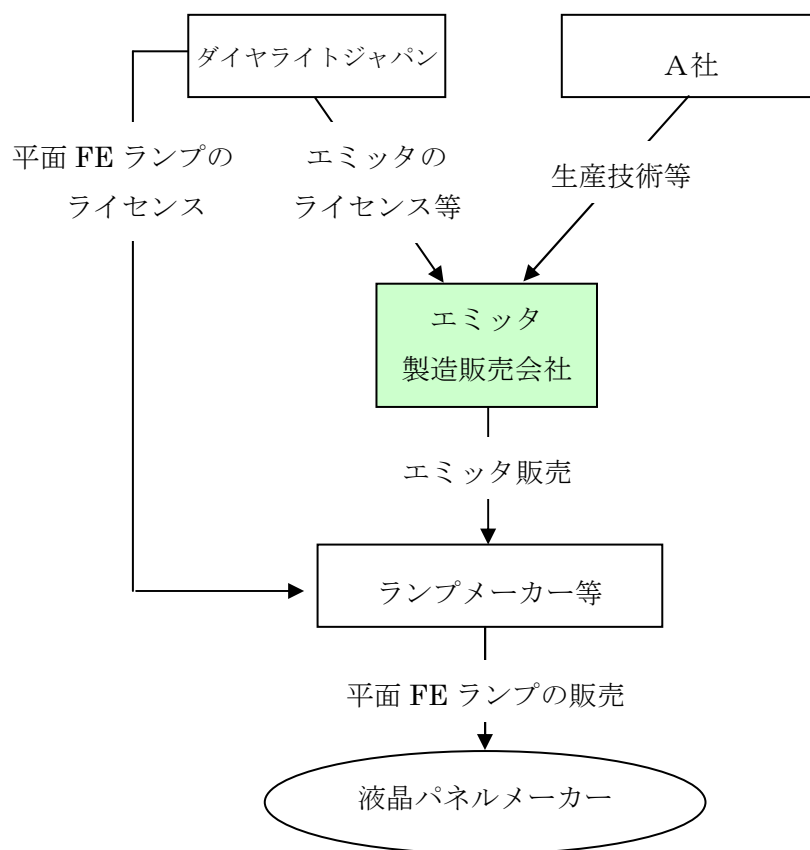


図 6-1. ダイヤライトジャパンの事業スキーム

## 6-2. 事業運営

ダイヤライトジャパンの事業運営は、開発技術別に大きく3つの事業フェーズがあった。①平面 FEL の試作が中心の試作フェーズ、②液晶 TV 用平面 FEL バックライトの開発と事業展開を目指したフェーズ、③一般照明用 FEL の開発と事業展開を目指したフェーズである。

### ①平面 FEL の試作が中心の試作フェーズ

5-2 で述べたように設立当時は、著者ら技術者は、FEL を作製した経験がほとんどなく、FEL を開発するには外部機関に頼る必要があった。いくつかの調査や打診をした結果、最終的には、平面 FEL は鹿児島県にある蛍光表示管 (VFD) 用ガラス供給メーカー2社に平面 FEL の試作協力をしていただくことになった。2社はともに VFD を商品として製作しており、平面 FEL の試作可能な設備を保有していた。管型 FEL は神奈川県にある蛍光灯を商品とする照明メーカーに試作協力をしていただくことになった。こちらも、管型 FEL の試作可能な設備を保有していた。

ただし、試作可能な設備は保有していたが、FEL を試作するのはもちろんはじめてであり、基本的には、ランプ構造の設計をしたことのない素人同然のダイヤライトジャパンの技術者が設計した FEL ランプ構造に従い、試作していただく流れであった。

幸いにして（不幸にも？）、それほど多くの検討をすることなしに著者らが設計したランプ構造の FEL は比較的短期間（約 3 ヶ月）で外部に公開しても大丈夫なレベルに達したことから、毎年秋に日本で開催される国際展示会（FPD international 2004）に出展することを決めた。既述のように、この展示会への出展を契機に外部との交渉が活発となった。

## ②液晶 TV 用平面 FEL バックライトの開発と事業展開を目指したフェーズ

FPD international 2004 への出展後、日本の液晶大手メーカー B 社への評価用サンプルの提出が始まり、その関係はダイヤライトジャパンが倒産するまで続いた。

平面 FEL バックライトに関しては、B 社には 2 極構造型の FEL を評価していただいていたが、2006 年 6 月から 2008 年 3 月まで経済産業省の予算 2 億円の国家プロジェクト「液晶バックライト用フィールドエミッション型平面ランプ」にダイヤライトジャパンが単独で採択された。技術ベンチャー単独で 2 億円の予算の国家プロジェクトに採択されるのはめずらしいということで、採択通知があった時には皆が大いに喜んだ。ただし、国プロの予算というのは微妙なもので、プロジェクトによって違うが、ダイヤライトジャパンの場合、2 億円の 3 分の 2 を国が負担するシステムであった。その場合、ダイヤライトジャパンが 3 分の 1 負担することになり、しかも国から補助は後払いなのでプロジェクトを実行している最中は、自分で先に負担しなくてはならず、資金の豊富ではない技術ベンチャーにとって大きな負担となった。

こうした資金的な条件から、開発対象技術についても方針転換を余儀なくされる方向となった。

国プロでは B 社に評価してもらっていたのとは別の 3 極構造型の平面 FEL 開発を行なった。これらとは別に、平面 FEL バックライトに関してもう 1 件の案件があった。それは、台湾の国立研究所で平面 FEL バックライトの開発チームから、一緒に平面 FEL バックライトの事業化をしないかとお誘いであった。台湾の国立研究所では、以前より液晶 TV 用バックライトにカーボンナノチューブ (CNT) を使った平面 FEL を用いる開発を行っていた。彼らの話によると、平面 CNT バックライトの開発はほぼ完了し、台湾の大手半導体ファンドリーが出資する子会社を設立し平面 CNT バックライトの量産工場を建てるとのことでした。そして、ダイヤライトジャパンのナノカーボンエミッタを用いた平面 FEL をその子会社の第 2 世代の平面バックライトとして実用化したいとの提案でした。ビジネスプランを拝見し、量産工場となる子会社の社長（大手半導体ファンドリーの人）となる方は既におられてお会いし、その信憑性を確認できた。開発費も台湾側から出るとのこともあり、ダイヤライトジャパンとしては願ってもない話であった。というのは、株

主でもある大手金属メーカーA社は、当初から将来はナノカーボンエミッタを量産することを視野に入れての出資であり、

A社がナノカーボンエミッタを量産に踏み切るのは、ナノカーボンエミッタを大量に消費する即ち FEL の量産をする企業がつくことが条件であり、その候補先となる企業が現れたたからである。ということで、台湾の研究所・量産予定の子会社、A社とダイヤライトジャパンの4社で平面 FEL バックライトの事業化に向けて進んでいった。

しかし、残念ながら共同事業はわずか半年で終わりを迎えた。液晶 TV 用バックライト市場で現行主流ランプである CCFL の低コスト化と高性能化が予想以上になされ、平面 CNT バックライトを量産してもコスト競争に勝てないと親会社である大手半導体ファンドリーの社長が判断し、この構想は中止と決断された。その結果、ダイヤライトジャパンのナノカーボンエミッタを用いた平面 FEL を第 2 世代の平面バックライトとしての実用化も同時に消滅した。この中止決定は、ダイヤライトジャパンにとっても、A社にとっても非常にショックな出来事で、この件をきっかけにA社のダイヤライトジャパンに対する情熱は相当冷めたと後に語られた。

### ③一般照明用 FEL の開発と事業展開を目指したフェーズ

管型 FEL における事業展開は、まず A 社の紹介で、日本の大手照明メーカーにサンプル評価をしてもらった機会を頂いた。評価していただいた結果、蛍光灯に置き換えるにはまだまだ完成度が低く、この状態では使えないとのことであった。一般家庭で使われる蛍光灯に置き換わるには相当なハードルをクリアしなくてはならないことを痛感した。つぎに、先ほどは述べなかったが日本の商社の紹介で韓国の大手照明メーカーと平面 FEL の共同開発の話が持ち上がっていた。しかしその当時、日本で既に平面 FEL の開発に着手しており、少し構造を変えた平面 FEL の開発を検討したが、同時期に別企業とほぼ同じ内容の開発をするのは厳しいと判断し、テーマ変更をお願いしたところ、液晶用バックライトの主流ランプである CCFL に代わる細管 FEL の開発を着手することになった。ダイヤライトジャパンが開発してきた管型 FEL は管径が  $\phi 15.5\text{mm}$  であったのに対し、CCFL の管径は  $\phi 3$  程度であったので非常に厳しい開発テーマであった。というのは、管型 FEL は CCFL と違って管のほぼ真ん中にナノカーボンエミッタを貫通させる必要があり、エミッタの直径が  $\phi 1\text{mm}$  であったのでほとんどない空間にエミッタをかんに触れずに通すのは至難の業であった。また、エミッタを通した後、管内を真空にする必要があるが、これに大変てこずった。

結局、手作りの試作では何とか作製可能になったが、自動化は無理であると判断し、お互いが納得した形で中止にした。

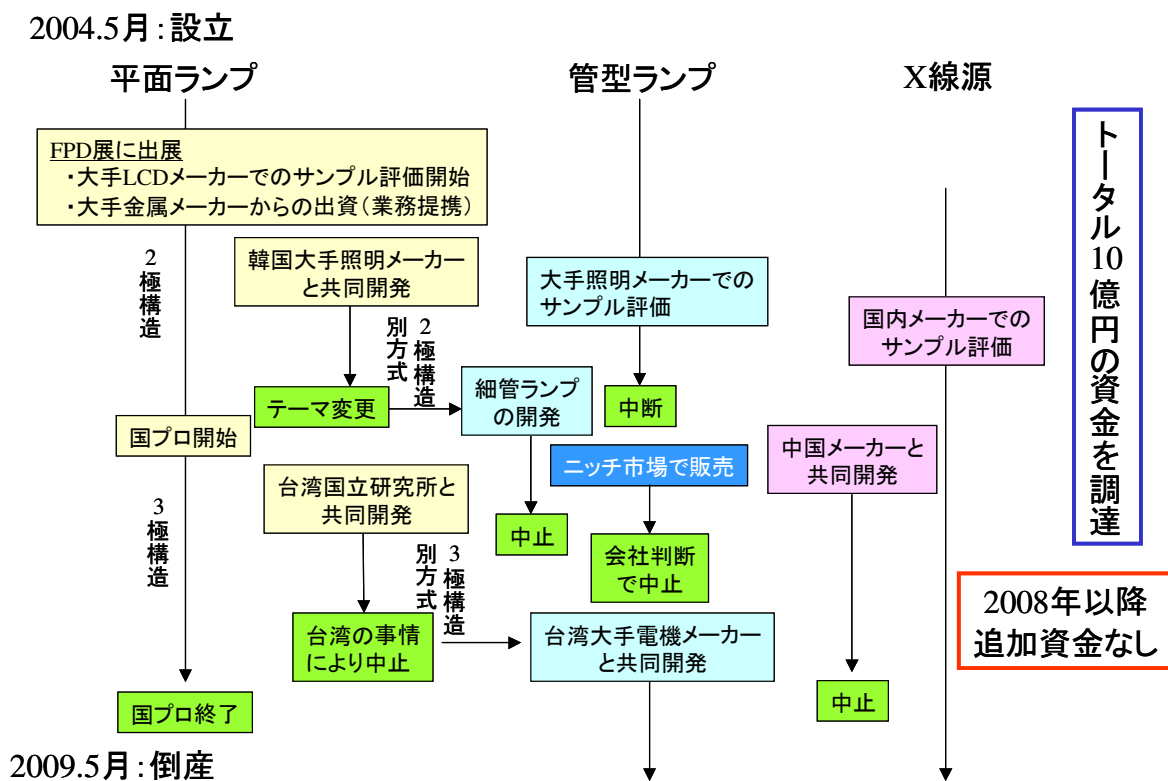
台湾での平面 FEL バックライトの事業化が中止になったが、ダイヤライトジャパンを誘った台湾の研究所のメンバーはこの中止に大きく責任を感じておられ、台湾の研究所の



メンバーが以前から付き合いのあるフィールドエミッションディスプレイ（FED）を研究開発している台湾の大手電機メーカーC社の研究グループに我々を紹介してくれた。FELのデモをしたところ、特に管型FELに興味を持ってきて、照明分野で直管FELを事業化できるように共同開発したいとの申し出があった。その後、共同開発を実施することになったが、その頃は既にダイヤライトジャパンの資金繰りは厳しい状態になっており、開発どころか活動する財力はほとんど残っていなかった。結果的にはC社とはほとんど共同開発的な動きはなかったが、著者自身は研究グループのメンバーと交流を続け、彼らの信頼を得ることができた。倒産後もC社との関係が途絶えるのは、今後の新会社を立ち上げるうえで大きな痛手ととらえ、倒産後も著者は個人的に接触を続け、今度の新会社でも協力してくれる確約を得た。

以上が主な事業経緯（X線源を除く）であるが、ひとつには資金的な制約から開発対象技術の選択が大きな影響を受け、これが更に経営的な意味での他社との連携戦略にも大きな影響を及ぼしたことがわかる。結果として、このベンチャーでは、多岐にわたり多くのテーマを実施することとなった。

図 6-2 にダイヤライトジャパンの主な開発経緯を中心に事業経緯をまとめた。



### 6-3. 倒産へ至る経過

ダイヤライトジャパンの事業運営は、前節に示したように一貫性に欠けた多岐にわたるものになったが、当事者らは、その都度、技術的には賢明な努力をしたと自負している。実際に、事業には結びつかなかったが、平面 FEL、管型 FEL とともに性能・完成度ともに設立時とは比べものにならないほど進歩していった、もう一步踏ん張れば違った展開が生まれていたのではないかと考えている。

結果的には倒産に至ったが、結局のところ一貫性のない技術投資戦略と事業運営で、最終的に資金源であるベンチャーキャピタルらの限界を超えてしまったことによる倒産であった。

ベンチャーキャピタルは技術的な成果を評価し、2007 年末までは継続的な追加出資や新たなベンチャーキャピタルによる出資があり、企業からの出資や国からの援助などを含めるとトータル約 10 億円の資金を得た。ただし、出資をストップしたのは、技術的な成果があるに関わらず、売り上げがほとんどない状況でなおさらなる追加出資を期待する態度に対する不信感であった。株主は出資金だけに頼らず、日銭を稼ぐ努力を求めたようだ。

経営側と株主側での意見の相違は、ダイヤライトジャパンが唯一まとまった金額（150 万円）を稼いだトンネル用警告機能つき照明の開発を会社側の判断で中止したことによく現れている。この照明は高知県の国土交通省のプロジェクトで試験的に導入していただき好評を得た事例（詳細は附録 A-5-2-2 を参照下さい。）である。高評価であったため、国土交通省は次年度に別のトンネルでの導入を計画していた。しかし、ダイヤライトジャパンの経営陣の判断はこの計画からの辞退であった。

これは、J カーブ型ベンチャー経営を実践してきたダイヤライトジャパンにとってはうなずける決断かもしれない。なぜなら、多額な出資をしていただき出資者の要求に応えるにはバックライト市場などように大きな売り上げが期待出来る市場で戦わなくては意味がないと判断したと考える。

ダイヤライトジャパンが倒産した要因はいくつかもあるが、技術投資戦略として一貫性のない事業運営とそれに伴う必要以上の設備投資などの出費をした経営能力の欠如と、表裏一体の資金調達行き詰まりが最大の要因であったと考える。

## 第7章 米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践その3. 考察

### 7-1. ベンチャー倒産要因の考察と整理

前章でダイヤライトジャパンの倒産について述べたが、倒産要因を簡潔にまとめると以下ようになる。

- 継続的な資金調達が困難になった。
- 投資回収という側面からの事業戦略・技術戦略が未熟であり一環性を欠いた。
- 組織運営も未熟であった。(倒産要因を実務レベルまで掘り下げて考察すると、外部協力先との連携にいくつかの問題があったことや経営陣と従業員との間の壁が存在したことなども倒産要因につながったことは否めない。)

米国型Jカーブ型ベンチャー経営を実践したダイヤライトジャパンの倒産の要因解析に加え、これまで報告されている日本での失敗事例の分析を加味すると、米国型Jカーブ型ベンチャー経営は日本でのベンチャー経営には有効ではないことが示唆される。

一方、米国ではシリコンバレーでの大成功事例に代表されるように、Jカーブ型ベンチャー経営の有効性を示す事例が多くある。では日米で何故、有効性に違いが出るのであろうか？この有効性の違いのもとには、何らかの国内的なインフラ整備の違いや、企業文化の差異などが関係していることが推測される。

そこで次に、資金的なサポートなど米国におけるベンチャー経営を支える社会全体のサポート体制について概論し、ベンチャーを支える米国における産業風土について考察する。

#### 米国のベンチャー企業に対する支援体制

米国での多くのベンチャー企業が成功・成長する要因として、ベンチャー企業に対する支援体制が充実していることがよく挙げられている。

米国ではベンチャー企業に対し、以下のような幅広い支援を社会全体が行い、ベンチャー企業が成功・成長を促している。

- 充実したベンチャー・キャピタルやエンジェルの存在。
- 米国政府の研究開発支援
- 大学を中心とした起業家育成・教育プログラムおよびベンチャー企業支援
  - 起業家の教育・育成
  - ベンチャー・ビジネスの研究
  - インキュション機能・コンサルティング機能
  - ネットワーク形成支援
  - 大学からの産業界（ベンチャー優先）への技術移転

以下に上記各項目について概論する。

### ■ 充実したベンチャー・キャピタルやエンジェルの存在

ベンチャー・キャピタルの最も重視される機能は資金提供者としての役割である。ベンチャー企業の成長プロセスの中で、特に、開発段階、初期段階と加速段階における資金提供者としての役割を担うことが期待されている。すなわち、ベンチャー企業にとって最も資金を必要とする時期に、リスクの最小化とリターンの最大化を狙い、最も有効な投資を行うことで、その存在意義が示されるのである。米国におけるベンチャーキャピタルの投資状況を日本のそれと比較したデータを図 7-1 からわかるように、米国のベンチャー・キャピタルは初期段階(56.0%)への投資が最も多く、加速段階(24.1%)が次に続き、最もリスクが高いといわれる開発段階および初期段階への投資は全体の 62%に及んでいる。

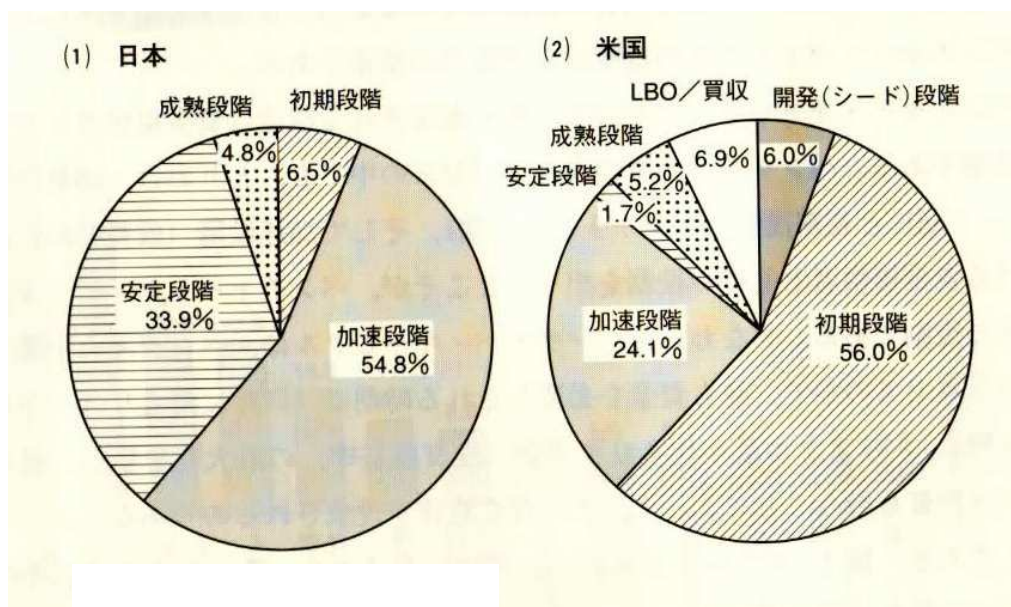


図 7-1. 日・米におけるベンチャー・キャピタルの投資状況の比較

(出所：『中小企業白書平成 9 年度版』)

米国のベンチャー・キャピタルがハイリスク・ハイリターンの投資を行える背景には、豊富な実務経験と専門知識をもった、独立系のベンチャー・キャピタルに属する優秀なベンチャー・キャピタリストが数多く存在していることがある。彼らは、独自の価値と自らの専門性に立脚した高度な投資判断があるからこそ、果敢な投資が可能になるのである。

米国では、ベンチャー・キャピタルのもうひとつの機能として、ベンチャー企業経営への支援（ハンズオン）が活発であり、ベンチャー企業に不足しがちな経営ノウハウを積極的に提供している。具体的には、「役員への派遣」、「金融機関の紹介」、「提携先・合弁先等の紹介」、「合弁・買収支援」など、経営戦略を含めた実質的な経営支援が行われている。

このように、米国のベンチャー企業では、最もリスクの高い開発段階や初期段階から、ベンチャー・キャピタルの資金援助に加え、積極的な経営支援によって、強力なマネジメント・チームが形成され、高度な経営戦略を駆使しながら、非常に速いスピードで株式公開を達成している。

エンジェルに関しては、資金提供額はベンチャー・キャピタルに及ばない場合が多いが、特に開発段階や初期段階で資金提供者となる個人投資家で、特定の技術、産業や市場に深い知識を持っている人が多く、資金供給以上の効果がある場合が多い。

## ■ 米国政府の研究開発支援

技術ベンチャーが自社の研究開発力や技術力を維持していくために、米国政府がベンチャー企業向けに提供している SBIR(Small Business Innovation Research)プログラムや STTR(Small Business Technology Transfer Research)プログラムのような研究開発プログラムからの資金を獲得することが重要である。

SBIR は米国政府の各省庁における研究開発予算の一定割合を中小企業向けの提案公募型プログラムとして拠出しているもので、このプログラムから資金を獲得できると、ベンチャー・キャピタルやエンジェル等の投資家の信頼が増し、彼らからの資金を獲得しやすくなる。STTR は大学や連邦研究所の研究成果を産業界に移転することを目的に作られたプログラムである。SBIR は企業単独で研究することが前提なのに対し、STTR は連携により研究を進めることが前提となる。

## ■ 大学を中心とした起業家育成・教育プログラムおよびベンチャー企業支援

米国では、400 校の大学で起業家教育のプログラムがあり、コミュニティカレッジを含めると約 600 校の大学で起業家教育が行われている。例えば、スタンフォード大学では、教授陣にベンチャー企業経験者も多く、産業界の状況を広く理解していることから、実際のケーススタディーを中心に行ったり、教授陣の産業界とのネットワークを利用した、起業に関する実践的なコンサルティングやアプローチ先の紹介など、単に経営の理論を教えることにとどまらず、その先の起業へと直結した教育プログラムを提供している。

ベンチャーの起業を目指す起業家にとって、ビジネスのアイデアを評価できる人、あるいはアイデアやプランにお金を出してくれる人を見つけることが大切である。米国には、起業家や起業家予備軍のネットワークを形成するための支援策があり、MIT のエンタープライズ・フォーラムとベンチャー・キャピタル・ネットワークの二つが有名である。エンタープライズ・フォーラムは MIT の同窓会が中心となり運営されており、会社設立や経営について教えたり、ビジネスプランをプレゼンテーションする場を設け、それについて会場のみならずディスカッションをする。その中から優れたものについて、会場に来ている投資家が興味を持てば、投資に発展するケースもある。また、これらのネットワークで

は起業家たちが集まり、お互いの成功や失敗、悩みなどを話し合ったりして、相互学習をしている。

次に、米国産業においてベンチャー企業が重要な役割を担うようになる大きなきっかけになった大学の産業界へ組織的な技術移転について概論する。

米国の大学は米国政府からの研究費を中心に、最先端の研究開発を進めている。これまで、大学の研究成果は、論文や学会での発表、学生の就職や、大学の教授や研究者と企業間のコンサルティング契約などによって産業界へ移転していた。しかし、1980年以降は、大学が特許を取得して企業へライセンスするかたちの技術移転の方法に注目が集まっている。

米国では、1970年代の不況下で新産業を創出し経済の活性化を図る努力が行われた。その当時は大学や国立研究所での研究成果が特許化されても権利は政府に帰属されていた。ところが、政府機関から特許が民間にうまく移転していないことが明らかになってきた。そこで、研究成果を実用化につなげるための方針変換として、1980年にバイ・ドール法が以下のような骨子で作られた。

- ① 国の資金で大学が開発した成果は大学に帰属する。
- ② 大学に帰属した特許権利は、ベンチャー企業に優先的に移転できる。
- ③ 特許の実施権料は大学と発明者にも配分される。

バイ・ドール法制定以降、研究大学を中心に技術移転機関(TLO)が設立され、大学の先端技術がベンチャー企業を中心に民間企業へ移転が活発になった。

#### ベンチャー企業が多く生まれる産業風土にあるベンチャー大国の米国<sup>7-1)</sup>

産業風土は、自然的側面に加えて、人的、物的、経済的、社会的、文化的、歴史的側面を含めた風土であり、産業を規定するものとしてとらえることができる。<sup>7-2)</sup>

米国のベンチャービジネスをめぐる環境には、上場までの期間が短い、企業の寿命も短い、研究者の移動が多く、年齢が若く、研究開発の技術者を調達しやすいなどがある。

つぎに、ベンチャー企業を起こす側では、社会人が勤務先企業から独立する傾向が高い。これは、能力主義、個人主義、ベンチャー・キャピタルなどの投資家や経営の指導者の存在、アメリカンドリームの実現、成功者が高く評価される社会、失敗した場合に再チャレンジ可能な有限責任性などが原因となっていると考えられる。また、学生がベンチャー企業を設立あるいは就職する傾向も高い。これは、個人主義、責任と義務、親の子離れ・子の親離れ、独立心旺盛、アメリカンドリームにチャレンジ、ハングリー精神、就職先に対する序列意識がないなどが原因となっていると考えられる。

このように、民間企業からのスピアウト者、大学卒業生など技術をもった独立心旺盛な起業家予備軍が多数存在する。こうした背景には、スタートアップ段階から成熟段階まで、膨大なリスクを背負いながら、投資先ベンチャー企業が株式上場するまで投資を行う

ベンチャー・キャピタルをはじめ資金提供を行う多数のスポンサーの存在がある。こうしたスポンサーは、アイデアとその人物そのものを評価できる能力を有し、財務的支援もできる実力者として高く評価されている。また、株式市場もニューヨーク市場に加え、NASDAQ 市場が存在し、上場しやすい環境が整備されている。さらに、ベンチャー企業に投資するエンジェルに対しては投資優遇税制、ベンチャー企業の起業家と従業員に成功報酬を受けれるストックオプション制度が存在する。また、米国中小企業庁は新規開業するベンチャー企業に対して、創業支援を行うプログラムを充実させている。

つまり、米国の産業風土は、ベンチャー企業を起こそうとする起業家の意識だけではなく、ベンチャー企業を取り巻く社会的環境に対しても影響を及ぼして、ベンチャー企業が誕生しやすい状況を作り出している。

実際、こうした背景の差異は、日米における大学発ベンチャーの起業実績の違いとなったあらわれている。

大学発ベンチャーは、大学での研究成果を活用できるという技術的優位性、学内の優れた研究者や研究インフラを活用できるという環境面での優位性などの潜在的な競争力や成長力を持っている。しかし、日本においては 1500 社を超えた大学発ベンチャーのうち、成功しているのはごくわずかである。木嶋豊氏著『カーブアウト経営革命』に多くの大学発ベンチャーで抱えていると考えられる問題点を以下のように挙げている。<sup>7-3)</sup>

#### ① 「経営者」不在

大学発ベンチャーの多くは、技術の発明者が創業し、経営の中心的存在になる。しかも大学の研究者は多くの場合経営の素人であり、本業でベンチャー経営に時間が取れない可能性が高い。優れた経営者を外部から得るケースは稀である。

#### ② 技術への過信

大学の技術を使ったビジネスが成功するかは、技術の良し悪しだけで決まるものではない。優れたビジネスモデルの策定、市場動向や環境変化に合わせたビジネス戦略とその実行が前提である。大学の研究者は自ら開発した技術とビジネス的な成功を同一視する傾向が強い。

#### ③ 事業化までの期間

大学の研究は基礎レベルのものが多く、事業化・商業化までの道のりは一般的に長い。基礎レベルの研究成果を事業化の目処をつけるまでには長い期間と多額の資金を要する。また、その間に市場や技術の予想しえない環境変化が起こりうることから大きなリスクのある分野といえる。

#### ④ ビジネスと研究の境界認識があいまい。

大学の研究生活になじんだ研究者は、学術研究とビジネスのための研究との線引きが苦手なケースが多い。その結果、ビジネスのための研究開発において、スピードと効

率性に問題が発生しがちである。

日本の大学発ベンチャーは大学発ならではの技術面、インフラ面での優位性がある同時に上記問題点のようなマイナス面を持ち、起業実績を考えるとマイナス面がプラス面を完全に食いつぶしていると考えられることができる。

一方、米国のシリコンバレーをはじめ多くの大学発ベンチャーは米国経済の牽引力となっている。米国の大学発ベンチャーは大学発ならではの技術面、インフラ面での優位性をそのままプラスにできる環境が整っているのである。

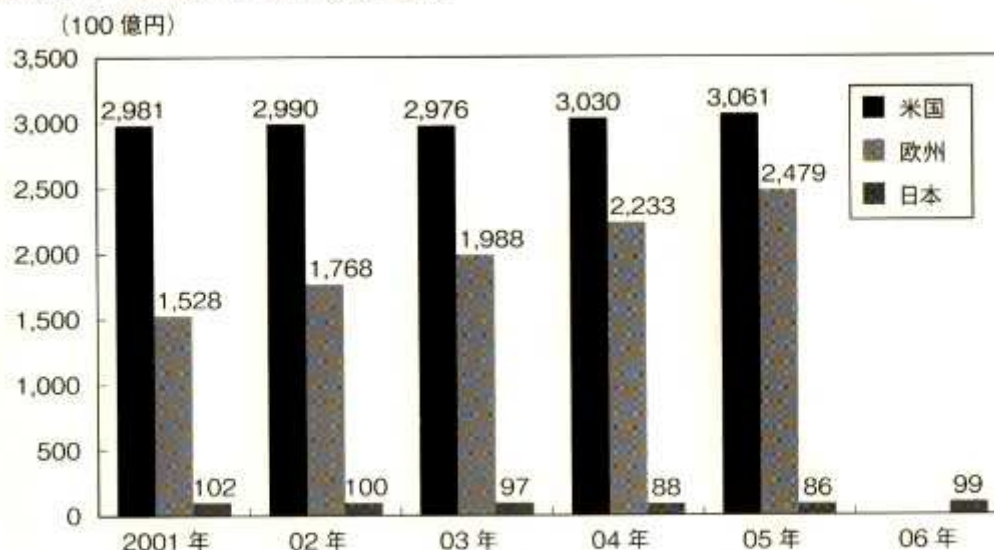
既に 2 章などで述べたが、米国には非常に充実したベンチャー企業への支援体制が敷かれている。それは、バイ・ドール法の制定など米国政府主導で進めた大学から産業界へ技術移転する仕組みづくりに連動したベンチャーキャピタル・エンジェルの充実、米国政府からの研究開発支援、大学による研究・教育・ネットワーク形成など豊富な支援である。

日米欧 3 地域のベンチャーキャピタル投資残高と年間投資額の推移を図 7-2 に示す。<sup>7-4)</sup>

図でわかるように投資残高、年間投資額において日米間ではそれら金額において大きな差がある。2005 年実績では米国の投資残高が 30 兆円であるのに対し、日本の残高は 8600 億円、年間投資金額は、米国の約 2.5 兆円に対し、日本は 2000 億円である。これらの格差でわかるように米国のベンチャーキャピタルの資金面での支援は日本のそれより格段に上である。

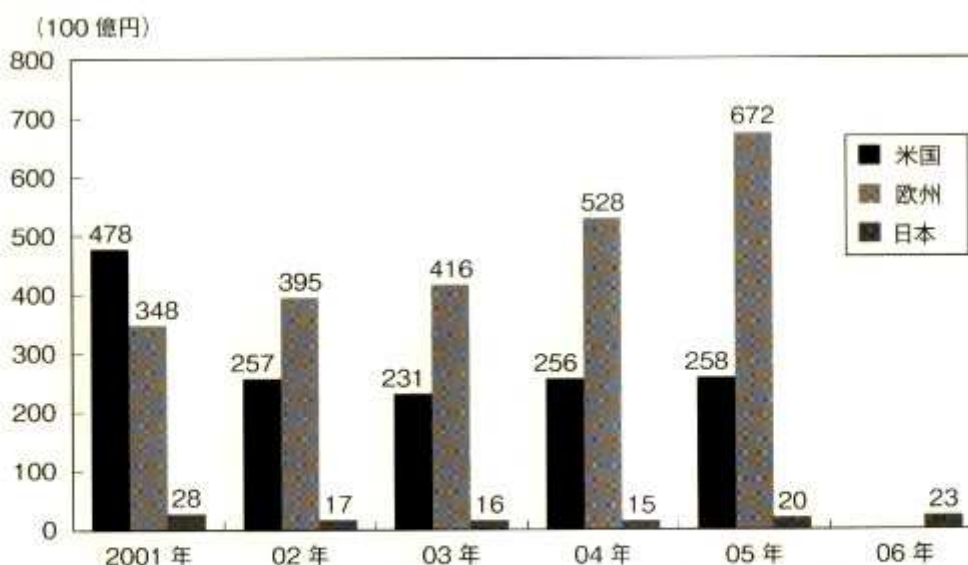


### 日米欧 VC 投資残高の推移



(出所) 米国は EVCA, Yearbook 2006 (1ドル=118円換算)、欧州は EVCA, Yearbook 2006 (1ユーロ=143円換算)、日本は各年報告書による (VEC「ベンチャーキャピタル等投資動向調査報告」)。

### 日米欧 VC 年間投資額の推移



(注) 米国は VC 投資のみでかつ米国内への投資に関する結果であり、欧州はバイアウト投資および海外投資を含む、日本は 2003 年までは再生・バイアウト投資を含むが、2004 年は再生・バイアウト投資を除く (すべての年において海外投資を含む)。

(出所) 米国は EVCA, Yearbook 2006 (1ドル=118円換算)、欧州は EVCA, Yearbook 2006 (1ユーロ=143円換算)、日本は各年報告書による (VEC「ベンチャーキャピタル等投資動向調査報告」)。

図 7-2. 日米欧 VC 投資残高および年間投資額の推移

さらに、単に資金を供給するだけでなく、米国では企業の最高経営責任者や企業に不足

している人材を探したり、経営のコンサルティング、あるいは経営参加などの幅広いサポートを行なっている。日本はこれらのハンズオンの機能を果たす VC が少なく今後の VC の課題の一つに上げている。

技術ベンチャーが自社の研究開発力や技術力を維持していくために、米国政府がベンチャー企業向けに提供している SBIR(Small Business Innovation Research)プログラムや STTR(Small Business Technology Transfer Research)プログラムのような研究開発プログラムからの資金を獲得することが重要であり、これらのプログラムから資金を獲得できると、VC やエンジェル等の投資家の信頼が増し、彼らからの資金を獲得しやすくなる。

大きな資金調達が比較的やりやすく、その他の多くのサポートが整備された環境の中でフロンティア精神が旺盛なチャレンジャブルな気質の人々が技術ベンチャーを起業していくのに従い自然とハイリスク・ハイリターンの J カーブ型ベンチャー経営が主流になっていったと考えられる。

このように、米国では資金面や経営面などを十分サポートするインフラが整っているうえで、J カーブ型ベンチャー経営が盛んに行なわれているのである。

このことが、日米で J カーブ型ベンチャー経営の有効性に違いを示す最大の原因と示唆される。

この示唆の信憑性を高める成功事例を次節に示す。

## 7-2. PIRI 社との比較検討<sup>7-5)</sup>

PIRI 社はダイヤライトジャパンと同じくハイテク分野で米国型 J カーブ型ベンチャー経営を実践し見事に大成功を収めた技術ベンチャーである。この成功事例とダイヤライトジャパンの失敗例を比較検討することで、前節で示唆した日米での J カーブ型ベンチャー経営の有効性の違いの要因をあぶりだせると考える。

PIRI 社は 1987 年に米国のオハイオ州に NTT が三菱商事と米国の研究投資機関バテル社を巻き込んでの 3 社の共同投資によるジョイント・ベンチャーとして設立され、NTT が開発した光ファイバーによる光通信技術の基幹技術となる PLC 技術の実用化を米国で目指した。

社長には PLC 技術を NTT の研究所で研究されていた宮下忠氏が就任し、他に NTT から 3 人の技術者を派遣し、製品化・実用化を助けるほか、米国の顧客のもとに直接出向き顧客との交渉や取引を推進することになった。バテルは PIRI 社の事業所と製造工場を用意してくれた。また、三菱商事は当面の市場開拓のためのチャンネル作りに力を貸してくれて、PIRI 社の合弁事業はスタートした。しかしながら PIRI 社の創業期は決して順風満帆ではなく、苦難の連続であった。米国を事業の拠点にした理由の一つは、PLC 応用市場として米国が一番の潜在市場と予測していたためであったが、マーケティングを重ねるうちにむしろ市場性がないことがわかってきた。また、顧客は PIRI 社が提供する技術だけでは受け入れら

れず、自前で PLC のアセンブリ化したものでなければ購入は望めないという事実がわかってきた。このようなことから、PIRI 社の事業運営は、設立当初の 3 年間はほとんど売り上げがたたなく、単年度黒字になったのは開業 7 年目であり、その黒字の実態も NTT からの支援による研究試作による収益を含んだものであったようだ。このような苦難の中、長期間の開発努力の末、NTT 研究所から簡便な PLC とファイバーとの接合技術が開発され、課題であったアセンブリの問題が克服されていき、インターネット興隆による光通信技術のブレイク直前に PLC の製品化を達成することができた。PLC の製品化により発注が入り始め、1997 年ごろを境に急激な需要の伸びに見舞われ、1999 年には売り上げが 60 億円強に達した。このように長い潜伏期を経た後、PIRI 社はその事業としての真価をようやく発揮することとなった。そして、2000 年には米国企業 SDL 社から 1800 億円強という高値で企業買収されることになった。これは資本金総額 8 億円強に対して、投資回収率としては 200 倍以上に相当するものであった。

PIRI 社の成功要因を考察すると、主に以下の要因が考えられる。

- NTT からの経済面・技術面を含めた継続的な全面的支援。
- 米国に拠点置くことにより実現した運命共同体的自立組織と暗黙知・情報・意思の共有化。
- 光通信技術のブレイク直前に PLC の製品化が達成できたタイミングのよさ。
- 縁もない米国での企業を決断した宮下社長の起業家精神。

PIRI 社の成功要因で特筆すべきは、NTT からの経済面・技術面を含めた継続的な全面的支援である。この継続的な全面的支援は、通常の VC では期待できず、仮に PIRI 社が VC に頼った運営であったなら倒産していた可能性がある。NTT の全面的な支援は、ひとつには宮下氏個人に対する担当技術者たちの思いもあるが、なによりも PIRI 社の製品・市場開拓によって、通信の光技術化が促進され、NTT の命運を期する通信技術イノベーションへと繋がるという、PIRI 社の事業ミッションがそのまま NTT 側の基本ミッションとして共有化されていたからである。

ここで、ダイヤライトの倒産要因をもう一度示す。

- 継続的な資金調達が困難になった。
- 投資回収という側面からの事業戦略・技術戦略が未熟であり一環性を欠いた。
- 組織運営も未熟であった。

PIRI 社の成功とダイヤライトジャパンの失敗を比較すると、2 つの明確な違いが容易に受け取ることができる。

1 つ目は、経済的な支援面の違いであり、2 つ目は、組織運営の違いである。両企業を比較し、すぐ言えるのは、PIRI 社でも NTT の継続的な支援がなければ倒産に至っていたで

あろうということである。

このことは資金調達に技術ベンチャーにとって、いかに重要であることを示しており、日米での資金調達に対する環境整備の差が日米での J カーブ型ベンチャー経営の有効性の差を示す最大の要因と考えられる。

### 7-3. 米国型 J カーブ型ベンチャー成長の環境条件

米国型 J カーブ型ベンチャー経営は米国経済の牽引力となっているベンチャーを多く輩出してきた優れたベンチャー経営であるが、これまでの考察から決して万能な経営ではなく、ある条件下で効果を発揮することがわかってきた。即ち、既に 2 章などで述べてきた米国特有といえる産業構造や社会的なインフラなどベンチャーを支える環境が整っていることなどの前提が必要であることがわかった。換言すれば、日本における型 J カーブ型ベンチャー経営には、従来から指摘されているインフラ面での下記の課題があり、これらが事業の成功を大きく阻んでいることが示された。

- 資金調達面での限界
- VC による有効なハンズオン支援の欠如
- 技術者や経営者自身のベンチャー事業経験およびノウハウの不足

日本における J カーブ型ベンチャー経営の成功には、PIRI 社の成功事例のように、

- 大企業を親会社として継続的な支援を受ける
- 米国資本との合弁として立ち上げる

などの有効性が示唆されたが、これと引き換えにおこる外部からの支配をかわすノウハウも必要であることがわかった。

### 7-4. ハネロン社との比較検討<sup>7-6)</sup>

日本における J カーブ型ベンチャー経営が特殊条件を除きあまり有効でないことがこれまでの考察で明らかとなった。では、日本という経営環境に適した技術ベンチャーの経営指針とはなにであろうか？

次に紹介するハネロン社の成功事例は、日本における技術ベンチャー経営にとって大いに参考になると考えている。ハネロンもダイヤライトジャパン、PIRI 社と同様にハイテク分野の起業という意味で共通するが、その経営戦略は J カーブ型ベンチャー経営と正反対といえるほど違う。

ハネロンは 2008 年に高知工科大学で博士号を取られた橋本道夫氏が 1970 年に個人会社として創業し、自社のコアコンピタンスであるアナログ・デジタル・メカトロの 3 技術を駆使して、外部環境に適合した独自の事業展開を行い、いくつもの節目を経験しながら、自社商品「DMA」を商品化させるに至るなど 30 年以上にわたり事業を存続させ続けている

企業である。

ハネロンは 30 年以上の事業推移で成長してきた過程を 4 段階に分けて説明している。

① カスタム電子制御機器開発製造での起業（1970～1977 年）

印鑑自動彫刻機制御装置、電子化制御盤の製作や電卓生産技術関連など多くの電子制御機器の製作しつつ、次段階での法人設立のコンセプトと精神、そして財政基盤を固めていった。

② ハネロン電子工業株式会社設立 FA 検査機器開発製造（1977～1985 年）

第一段階で作製してきた各種製品を扱っている中で、工場の FA 化が時代の要請であること、継続的な成長事業となりうると予測したことで、事業ドメインを工場の自動化、すなわち「FA・検査機器開発製造」と定め、ハネロン電子工業株式会社を設立した。

電卓自動組立てライン制御・検査装置の製作や LCD オートテスターの開発など多くの FA・検査機器開発製造を行い、自動化ライン検査機器に関する暗黙知的な顧客技術知識の習得を行なった。

③ OEM 事業への転換 FA 機器・電子制御機器開発製造（1985～1995 年）

電卓を主とした自動化検査機事業は電卓の成熟化による海外生産への展開により下火になり、需要が急増していた PLC(Programmable Logic Control) 入出力ユニットの OEM 事業に転換することを決断した。

④ バブル崩壊によるグローバル化の中で新分野開拓と自立化の模索（1995～2005 年）

バブル崩壊・グローバル化に遭遇したことにより、設備投資の後退と共に、FA 産業の停滞が始まった。FA はハネロンの生命であり、FA の停滞は企業の停滞・消滅を意味し、FA 以外のビジネスを早急に模索する必要性に迫られた。人工透析計測制御装置開発製造や TFTLCD 検査機開発製造などを行い、そしてパケット通信を採用した M 社の車両動態管理・運行管理用車載端末機の開発は自社商品「DMA」に繋がった商品試作開発となった。

①～④を経ていよいよ自社製品 DMA(データ・メール・アダプタ)の開発・商品化に進んでいったが、時流に乗った IT という新たな分野で、これまで蓄積した技術を一つのアイデアで商品化に結びつけたことは、ハネロンの技術経営戦略のひとつである「コア技術を深めるとともに、無い技術に対しても自社の技術になるように努める」ということを実践していることを物語っている。

ハネロンは、過去に構築した既存技術を基盤技術として、顧客情報を手掛かりに、新しい技術を手に入れ、次々に垂直的に展開していく戦略（垂直型逆三角形モデル）を実施している。つまり、既存技術で既存製品を改良開発することにより、既存市場に参入し、さらに技術を深め、蓄積し、新たな競争に勝てる新市場に参入していく方法である。

ハネロンの経営戦略は既存市場で持続的に事業を進めていく中小企業に多く見られる経

営をしつつ、機会を見て、新たな市場に参入していくというベンチャー的経営を取り入れた、いわば急成長を望まず着実に新規市場を創出していく経営といえる。

#### 7-5. 日本型サステナブル型ベンチャーの可能性

日本がいきなり米国と同程度にベンチャー企業を支援するインフラ整備がなされることを期待するのは現実的でないことから、Jカーブ型ベンチャー経営に替わる新たなベンチャー経営を生み出す必要がある。それには、日本における産業構造・企業風土・事業インフラ整備の実態などにマッチさせる必要があり、日本の企業の大部分を占める中小企業のサステナブルな経営をベースにすることが効果的であると考えた。即ち、ハネロンのようなサステナブルな経営にベンチャー的な要素（新規事業創出）を加えた日本型サステナブル型ベンチャー経営が日本の経営環境にマッチしたベンチャー経営ではないかと考える。

具体的には、

- ニッチ市場における生産規模は少ないが固定顧客の得やすい事業展開
- 企業間連携を重視し、他企業や大企業との協業による事業展開
- 収益の急増は狙わず、手堅い事業経営の積み重ねにより、イノベーションの時機を忍耐強く待つ
- “和の経営”により、従業員の協調性、情報誌シェア、協調を重視した組織運営

などの経営手法を取り入れることが、日本での企業生存の道であると推察する。

これら4つのファクターは、互いに独立した条件であるというより、一つが成り立つためには、他の条件が必要であるというように、相互依存・相互連関の関係にある。すなわち、こうした条件の積み重ねによって、はじめて日本型サステナブル経営が成り立つものとなっているのである。

## 第8章 日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その1. 技術戦略

### 8-1. 基本方針

志は常に持ち続け、イノベーションの時機が来たときに対応できるようにダイヤライトジャパンから継承したコア技術であるカーボンナノエミッタの性能向上・改良には余念が無いようにする。しかし、それは、自社の経済的な基盤があるのが前提になるので、現実的な視点で今売れるものを売れるところに売れることを基本方針とする。

この基本方針を実現するために、ダイヤライトジャパンの反省を踏まえて、事業戦略・技術戦略・組織経営は、米国型Jカーブ型ベンチャー経営の基本方針にそうものではなく、前章で述べた日本型サステナブル型経営の特徴にそうものとする。即ち、

- ニッチ市場における生産規模は少ないが固定顧客の得やすい事業展開
- 企業間連携を重視し、他企業や大企業との協業による事業展開
- 収益の急増は狙わず、手堅い事業経営の積み重ねにより、イノベーションの時機を忍耐強く待つ
- “和の経営”により、従業員の協調性、情報誌シェア、協調を重視した組織運営  
そして、照明産業のニッチ分野から参入し基盤を作り、機会を見てメインストリーム市場への用途拡大を目指していく。

本章では、この基本方針に基づき、技術戦略について述べるが、技術戦略の方向としては、以下のような考え方をしていくものとする。

### 8-2. FEL のポジショニング分析、販売価格帯

#### ポジショニング分析

筆者らがダイヤライトジャパンで開発した FEL の性能レベルは未完成段階にあるが、完成時には、図 4-20 に示すように多くのアプリケーションに対応できる高いポテンシャルを持つランプである。

現段階の FEL の性能から他光源に比べてどのような長所、短所があるのかを、新たな戦略策定に結びつくように再度分析しなおした。

#### 「長所（競争優位点）」

- 水銀フリー
- 瞬時点灯性：点灯後すぐに 100%の光量が出る光源は意外に少ない。
- 高演色性
- 調光可能

- 広い使用温度範囲 (-50℃～+80℃)：使用温度範囲が広いので FEL 適応分野が広い。
- 紫外線を放出しない
- 高輝度発光が可能：ただし、寿命が短く改善が必要

「短所（競争不利点）」

- 発光効率が低い (40lm/W)
- 高電圧駆動：駆動時に高電圧 (5kV 以上) が必要で一般照明として家庭内・オフィス内などで使用する場合の使用認可に時間を要する可能性がある。

今回の分析では、特に一般照明に限らず、様々な側面でどのように他の技術に対して優位性があるかに着目する。寿命などその他の特性は他光源と比べて大きな優位性はないが、実使用上、問題ないレベルにある。そこで、寿命と光束、価格などのパラメータを基軸として、他の技術とのマッピングを試みた。(図 8-1)

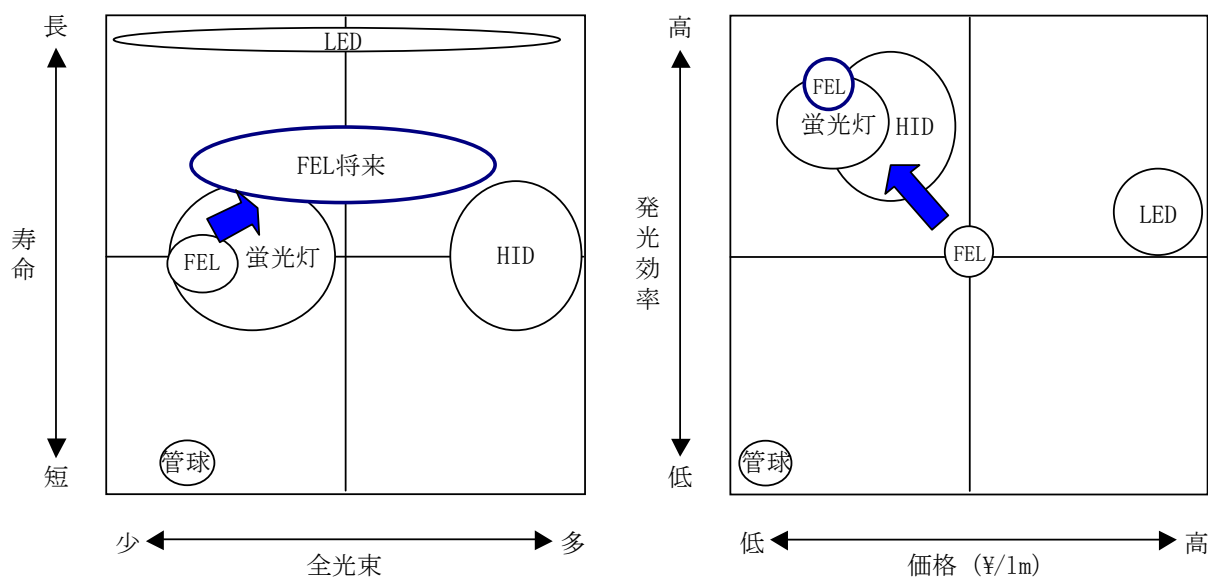


図 8-1. FEL のポジショニング分析  
(FEL は現状値と近い将来目標を示している)

図 8-1 の左図は屋外照明、右図は住宅照明や店舗照明などに適した性能指数で表したポジショニングであり、屋外照明用途では左図の全光束が多く寿命が長い、4 ブロックのうち右上のブロックが適していると考えられる。また、住宅・店舗照明用途では、右図の価格が低く発光効率が高い、左上のブロックが適していると考えられる。現状の FEL は屋外照明、住宅・店舗照明ともに最適な光源とは言い難い。屋外照明をターゲットにするな



ら、全光束量の増加が重要課題になる。住宅・店舗照明用途をターゲットにするなら、価格、発光効率とも向上させる必要があるが、白熱電球が用いられている分野での置き換えは現在の特性でも可能性があると考えられる。

#### 販売価格帯

FEL と蛍光灯との構成部材の比較から見た FEL の価格見積りを表 8-1 に示す。

表 8-1. FEL と蛍光灯との構成部材の比較から見た FEL の価格見積り

	蛍光体	電極		封入ガス	インバーター
		陽極	陰極		
FEL	P22蛍光体	ITO	エミッタ	なし（真空）	試作段階
蛍光灯 (FL)	3波長蛍光体	Wフィラメント		Hg・Ar・Ne	安価で作製中
コスト	同等	FLが安価	同等	FELが安価	FLがやや安価

表 8-1 からわかるように FEL と蛍光灯の構成部材は共通する部分が多く、各構成部材のコストを比較することで FEL の価格の概算見積りが可能である。構成部材ごとで FEL が安価だったり、蛍光灯が安価だったりするが、トータルすると FEL の価格は、蛍光灯とほぼ同等か蛍光灯をやや上回るものになると予測している。

蛍光灯は市販品として大量に流通しており、FEL の価格は市販品として流通できる範囲のものになると考えている。

しかし、上記の見積りは、市販している蛍光灯と同程度に FEL を大量生産した場合のことであり、(厳密に言えば FEL の販売価格には新規生産設備の償却費などが加わえる必要がある)、現状の手作りベースの FEL の販売価格ではない。

次に現状の FEL の価格について考察する。

ダイアライトジャパンが存在していた時には、蛍光灯メーカーB（従業員：85名 売り上げ：20億円 生産量：1万本/月）と業務提携を結んでおり、管型 FEL を試作していた。その際の試作費用は仕様によって若干差はあるもののおよそ¥7,500/1本であった。

現在、蛍光灯メーカーBとは新会社設立後に新たに業務提携を結び試作を継続していただく計画を立てている。業務提携が合意するとの仮定の下で考察を進めていく。

これまで以上に試作数を増やし・試作費の値下げ交渉をしても¥5,000/1本が妥当な線であると考え、¥100程度/1個の白熱電球、¥1,000程度/1本の蛍光灯、¥1,000以下/1個の電球型蛍光灯などが市販されている一般照明市場で勝負するのは現段階では無理と考える。

### 8-3. ターゲット分野

以上の検討から、日本型サステナブル経営の戦略に基づいて考えると、将来的には、市場規模の大きい蛍光灯の置き換えを狙うにしても、現時点のポジションを考慮すると、まず、現時点で勝負できる白熱電球が使用されている分野にターゲットを見据え、白熱電球の代替を狙う戦略が最適と考えられる。

8-2 で考察してきた結果、FEL の技術が完成し、大手企業などが大量生産する状況になれば価格的な問題がなくなり多様な照明分野をターゲットにすることが可能となると考えている。しかし、大量生産が望めない創業期にはどの照明分野をターゲットにしても価格が障壁になることが予想できる。そこで、現時点での FEL の性能で勝負できる白熱電球が使用されている分野にターゲットの中心を絞ることが重要である。また、既述のように、ハイテク分野の技術ベンチャー企業が死の谷を越えるには、創業期はニッチ市場のある分野に特化し、その特定分野でのマーケットリーダーになることに全力を尽くし、その分野を起点に、メインストリーム市場への進出を目指すことが、死の谷を越える有効な方法である。これは、米国型 J カーブ型ベンチャーでなくとも、日本型のベンチャーにも、共通して成り立つ考え方といえる。一方、照明産業の調査で明らかになったのは、付加価値の高い製品は、同じ光源でも高価格でも販売されていることである。例えば白熱電球が使用した照明器具を例にあげると、トイレ用の照明は約 2,000 円で販売されているが、防水機能が必要なサウナ照明は約 17,000 円で販売されている。このように同じ光源でも高付加価値製品に適用すると高価で売ることができる。高付加価値製品は一般照明よりもニッチ照明市場に存在する場合は多いことはデータにより示されている。

このような考え方で次のような照明分野への FEL 導入の検討を進めていく。

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| ■ 高演色性を生かした分野        | ・TV スタジオ用フェースライト |
|                      | ・美術品用照明          |
| ■ 広い使用温度範囲を生かした分野    | ・冷凍倉庫、リーチインケース   |
|                      | ・サウナ用照明など        |
| ■ 瞬時点灯・点滅機能を生かした分野   | ・トンネル用警告照明       |
|                      | ・サンマ用集魚灯         |
| ■ 調光機能を生かした分野        | ・鶏舎用照明           |
| ■ ブロード発光スペクトルを生かした分野 | ・植物育成用照明         |

次に、更に詳細に、このひとつひとつの項目について調査・分析した。

### 美術品用照明

美術品照明は、美術品そのものの繊細な色を照らす照明によって損なうことは許されず、高価な美術品を照らす照明から発せられる熱や紫外線により劣化させることを避ける必要があることから、高演色性と熱や紫外線を出しにくいことが望まれている。現在の主流は蛍光灯であるが、近年、熱や紫外線の放出が少ない LED 照明が注目されている。しかし、一般的に LED 照明の演色性はそれほど良くない。FEL は演色性がよく、しかも熱や紫外線の放出が少ないため、蛍光灯や LED 照明に対し優位性があると考えられる。

### 冷凍倉庫、リーチインケース

冷凍倉庫、リーチインケースなど低温条件下では水銀を発光原理に利用する光源は 100% の性能を発揮するのは困難である。一方、FEL は  $-50^{\circ}\text{C}$  ~  $+80^{\circ}\text{C}$  の広い使用温度範囲内でその能力を発揮するので優位性があると考えられる。

### サウナ用照明

サウナ用照明など高温条件下では蛍光灯などは 100% の性能を発揮するのは困難であるため現状では白熱電球が主流である。白熱電球は 2012 年の製造中止が発表されていることから白熱電球代替光源として FEL を売り込める分野と考える。

TV スタジオ用フェースライト、サンマ用集魚灯、鶏舎用照明、植物育成用照明はダイヤライトジャパンの末期に実際にコンタクトしていた分野である。また、トンネル用警告照明はダイヤライトジャパンの唯一の製品である。

### TV スタジオ用フェースライト

TV スタジオ用フェースライトは出演者の手元付近から出演者の顔をめがけて照らす補助照明である。光量などはあまり求められず、出演者の顔をきれいに写す高演色性が望まれる。さらに、光量を調整する調光機能も求められる。また、撮影中や放送中にフェースライトが切れることはご法度なため放送ごとといった短期間でフェースライトを交換する。しかもこの業界は価格よりも機能重視がされ、フェースライトの価格は一般市場に比べて高額でも販売できるそうで、ダイヤライトジャパン時代に TV 局と交渉をした会社は  $\text{¥}300,000$  / 1 本で交渉していた実績があり FEL を売り込める分野と考える。

### サンマ用集魚灯

サンマの収穫はサンマの習性を利用した棒受け網漁業で行なっている。棒受け網漁業とは白熱電球などの光源を点滅点灯し、サンマを誘き寄せ網で捕獲する方式である。(図 8-2)



図 8-2. サンマの棒受け網漁業の風景（出所：インターネット検索より）

光源として主に白熱電球を使用しているが、近年 HID ランプや LED の採用が検討されている。なぜならば、白熱電球を使用する場合、1 シーズンで 250kW~900kW の電力を消費し、サンマ漁船の運行範囲・時間に制限を与えることになるからだ。HID ランプを使用する場合、ランプ 1 台が 45 万円し、インフラを整備する必要があるため採用に躊躇していると聞く。LED はインフラを新規に整備する必要があるものの採用事例が報告されているが、採用しない最大の理由はコストが高いことを挙げている。一方、FEL の場合、1 シーズン 240kW 使用の漁船に採用した場合、180kW の電力削減が可能となり、金額に直すと 410 万円の燃料費削減になる。またインフラを新規に整備する必要がなく電球のみの交換になるので初期投資費用が少なく FEL の優位性があると考ええる。

#### 鎖型鶏舎用照明

鶏舎用照明（図 8-3）は、白熱電球が使用されるニッチ市場の照明である。特に閉鎖型鶏舎では調光機能が必要なため蛍光灯が採用されにくい分野である。白熱電球代替光源として FEL を売り込める分野と考える。

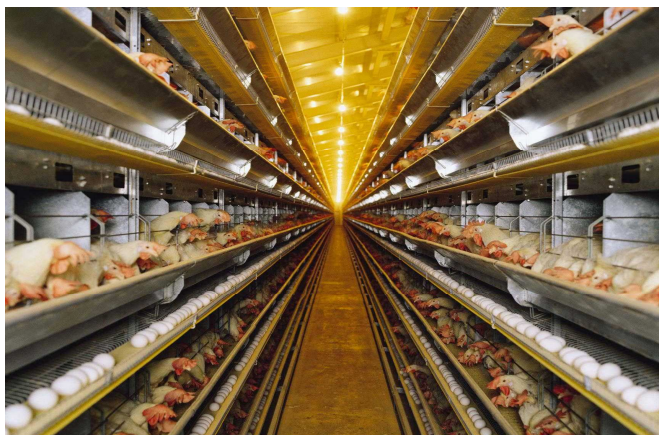


図 8-3. ウインドウレス鶏舎用照明（出所：インターネット検索より）

日本にある鶏舎では鳥インフルエンザ対策として、閉鎖型鶏舎となってきた。1 日を 20 時間として、昼夜を白熱電球照明で昼夜を実現させている。

大規模鶏舎では、例えば 60W 電球を 3,000 個使用しているとすると、年間電気使用量は

$$(60W + 10W) \times 8,760 \text{ 時間/年} \div 2 = 306.6 \text{ kWh/灯}$$

$$306.6 \text{ kWh} \times 3,000 \text{ 灯} = 919,800 \text{ kWh}$$

$$919,800 \text{ kWh} \times 24 \text{ 円/kWh} = 22,075 \text{ 千円}$$

これを電球形 FEL に取り替えると、消費電力は 3 分の 1 となるから 14,716 千円の省エネが見込める。

また白熱電球からの発熱が 3 分の 1 となれば、鶏舎の空調費の削減、更に電球の寿命はせいぜい 2,000 時間程度に対し、FEL は 10,000 時間であるから、FEL を 1 回取替える間に、電球は 5 回取替えが必要となる計算になる。この取替え費用は電球代の他に人件費が入る。

このように、現在のインフラがそのまま使用でき、新規インフラ投資が必要ないことのメリットに加え、FEL への置き換えは大変大きなメリットである。

#### トンネル用警告照明

トンネル用警告照明はダイヤライトジャパンの唯一の製品である。(図 8-4)



図 8-4. トンネル用警告照明

ダイヤライトジャパン時代は経営判断で別のトンネルへの適応を検討をしなかったが、ダイヤライトジャパンがらが考えた照明分野であるため今のところ参入他光源がないことに加え開発は完了しているためより低価格で販売できることからニッチ分野での FEL の

大きな市場になりうると考える。

#### 植物育成用照明

完全密閉型植物栽培に蛍光灯や LED など比較的低光量の光源が検討されており、FEL の適応分野になりうるとして著者自身が比較的以前から調査をしていた。本格的な活動をするかは未定だが FEL の有力な適応分野の候補と考える。

#### 8-4. 競合光源の動向予測

4-4 で述べたように、FEL が事業機会を創出していくにあたって、FEL と大きく競合するのは白色 LED と考えている。しかし、LED 照明は FEL にとって脅威であることは変わらないが、決して対抗できない相手ではないと考える。現状の完成度は LED 照明が FEL の上を行くが、FEL の技術が完成すれば、住宅用や店舗用照明などの巨大市場にも参入できると考えている。しかし、参入が遅れると LED 照明や有機 EL 照明が市場を食いつぶしていくことが予測されるので、一刻も早く FEL 技術の完成をさせ、市場獲得争いに加わる必要がある。(詳しくは 9-1 を参照していただきたい。)

#### 8-5. サステナブル型技術戦略策定

近い将来に FEL をメインストリーム市場に参入するためには大企業などとライセンス契約を結び、FEL の生産・販売を大企業に委ねることが一番の早道だと考える。

新会社の事業スキームの基本は、ダイヤライトジャパンの事業スキームと同じで、生産設備などの大きな固定費を持つことは避け、商品化を担う大量生産ができる大手企業などとライセンス契約を結び、ロイヤリティ収入を得ることであり、ロイヤリティ収入による資金でさらなる研究を行い知的資産の拡充をしていくことである。

しかし、それ以上に、ハイテク分野の技術ベンチャー企業にとっての宿命である死の谷を乗り越えることが重要であり、そのための創業期における技術経営戦略を策定する。

8-4 の競合光源の動向予測からわかるように、一刻も早く FEL 技術を完成させ必要があり、そのため著者らの新会社の場合、本来のサステナブル型のベンチャー経営とは少し趣が異なるが、サステナブル型経営のエッセンスを取り入れた技術戦略になっている。

#### 創業期における技術経営戦略

■商材となる FEL の仕様：2 極型 FEL で、電球型 FEL と直管型 FEL のみを商材とし、付加価値を高めるため、極力、用途に応じた照明セットとして販売する。

■ターゲット照明分野：FELの特長が活かせるニッチ照明市場で販売活動を行なう。具体的な分野として、TVスタジオ用フェースライト、美術品用照明、冷凍倉庫、リーチインケース、サウナ用照明、トンネル用警告照明、サンマ用集魚灯、鶏舎用照明および植物育成用照明の9分野を重点分野とする。一方、ライセンス契約交渉を行い、ライセンス契約先には一般照明分野での蛍光灯および白熱電球代替光源として直管型FELと電球型FELの生産および販売の権利を与え、その見返りとしてロイヤリティ収入を得る。

■技術開発、市場参入のスケジュール：LED照明、有機EL照明などの競合光源の台頭が予想されること、2012年末での白熱電球の国内生産・販売禁止が決定していることを考慮すると、一刻も早いメインストリーム市場への参入が必要になる。具体的には、2010年上期中での技術開発の一通りの完成とそれと同時にニッチ市場での販売活動を加速し、ニッチ市場での地位を確立させる。そして徐々にニッチ市場からメインストリーム市場へ用途を拡大させ、2012年初よりメインストリーム市場に本格参入を果たすことを目標にスケジュールリングしていく。

■売り上げ予測：創業期の売り上げ計画を上記9分野のうち以前より検討していた

TVスタジオ用フェースライト、サンマ用集魚灯、鶏舎用照明および植物育成用照明で売り上げ計画を表8-2に示す。

次章で述べるが、販売する照明セットは提携先であるC社が生産することが前提になるが、生産し新会社に格安販売することによりC社に利益が出る計画を立てたのでC社の採算計画も併せて示す。(表8-3、図8-5)

このように、新会社・C社ともに利益がでるWin-Winの関係を築くことが創設期には特に重要と考えている。

表8-2. 創業期の売り上げ計画

	売上高				売上高合計 (利益)
	フェースライト	鶏舎	サンマ漁集魚灯	生物(野菜工場)	
定格	～10W 直管型	20W 電球型	30W 電球型	40W 直管型	
売値	当初：50,000 3年後：30,000 (ランプケース含む)	8,000	8,000	8,000	
1年度	5,000千円 (100台)	8,000千円 (1,000灯)	1,600千円 (200本)	—	14,600千円 利益：4,850千円
2年度	15,000千円 (300台)	24,000千円 (3,000灯)	4,000千円 (500本)	—	43,000千円 利益：14,500千円
3年度	15,000千円 (500台)	40,000千円 (5,000灯)	8,000千円 (1,000本)	4,000千円 (500本)	67,000千円 利益：18,000千円
4年度	24,000千円 (800台)	80,000千円 (10,000灯)	16,000千円 (2,000本)	16,000千円 (2,000本)	136,000千円 利益：39,800千円

注) 利益は新会社の売り上げからC社からの購入額を引いて計算している。

表 8-2 で売り上げに対する利益率はおよそ 27～34%である。これは TV 局向けフェースライトは高売値での販売が影響した結果である。このようにニッチ市場ではメインストリーム市場にはない高売値での販売できる可能性がある。また、TV 局向けフェースライト以外の用途では、利益率が約 10%の薄利で販売する計画を立てている。『キャズム』で述べられているように、ニッチ市場での事業活動では売り上げはもちろん大切であるがそれ以上に、拠点作り・採用実績が重要であるため、できるだけ薄利で販売することで実績作りの障壁を低くする狙いがある。

表 8-3. C 社における FEL 照明セット生産の採算計画

歩留りは95%として計算 千円

	1年度	2年度	3年度	4年度
新会社への販売価格	7.5	7.5	7	6.5
生産台数(本)	1,300	3,800	7,000	14,800
新会社への売上高	9,750	28,500	49,000	96,200
変動費	6,800	18,000	29,500	54,500
固定費	4,000	6,000	9,000	12,000
設備償却費(定額) 2000万/4年	5,000	5,000	5,000	5,000
製造費計	15,800	29,000	43,500	71,500
単年度利益	-6,050	-500	5,500	24,700
累積利益	-6,050	-6,550	-1,050	23,650

注) 変動費は C 社が FEL 必要部材、インバーターなどの部材代、電気代などで生産台数に応じて 1 台あたり ¥3,500～¥5,000 で計算している。固定費は主に作業員の人件費であり、生産台数に応じて 2 人～4 人で計算している。C 社の生産設備の改造費として ¥20,000,000 を想定し、4 年定額の設備償却費として計算した。

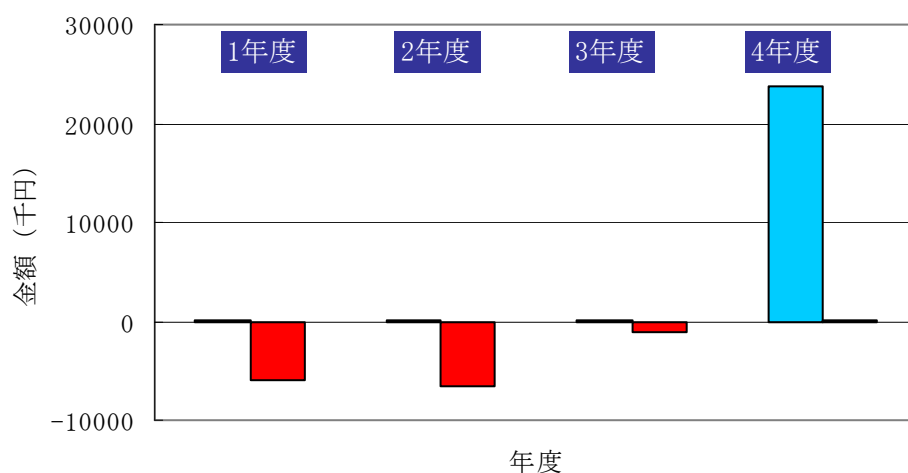


図 8-5. 累積利益の推移予測



利益に関しては単年では3年度、累積では4年度で黒字になる計画であり、将来の量産設備検証の名目で、改造していただく試作設備でのFEL生産でC社が利益を得られるような計画を立てそれを実現できるよう新会社・C社が協力し合うことにより、新会社とC社とにより信頼関係を築くことができると考えている。

- 企業運営：次章で述べるが、新会社は起業家精神を持った少数精鋭集団であり、すべての活動は事業に直結せねばならない。経営戦略・事業計画に則って活動していき、メインストリーム市場への参入を目標とするが、真の目的は研究シーズを世の中に出すことである。事業を進めていくと予想をはるかに上回る壁に突き当たることは十分に考えられる。ニッチ市場、メインストリーム市場に参入しても利益確保が非常に困難であると判断したら、当初の事業計画に固執せず、真の目的に立ち返り、ニッチ市場でのドメインの変更やメインストリーム市場から採算の取れるマーケットに軌道修正するような柔軟な経営判断ができる企業運営、即ち、柳在相氏が述べる学習プロセスを通じて蓄積した情動的資源による戦略の変更を含めた企業運営を実施していく。

## 第9章 日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その2. 事業実践

### 9-1. 新会社の経営環境分析

新会社設立時における SWOT 分析を行ない、新会社の技術力・企業力について分析した。(表 9-1)

表 9-1. 新会社設立時での SWOT 分析

<p><b>Strength (強み)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● FELはグリーンライティングの有力候補である</li> <li>● FELは多くの照明用途に対応可能である</li> <li>● 倒産以前の技術力はほぼ確保できた</li> <li>● 倒産以前のデータを生かせる (一からの出発ではない)</li> <li>● 起業家精神を持った少数精鋭集団である</li> </ul>	<p><b>Weakness (弱み)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 豊富な運転資金はない</li> <li>● ベンチャーキャピタルからの出資などは期待できない</li> <li>● FELを開発している企業が少なく協力が得にくい</li> <li>● 現状のFELはまだ未完成である</li> <li>● FELは高電圧を使うので敬遠される可能性がある</li> </ul>
<p><b>Opportunities (機会)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 世界中で白熱電球の製造・販売中止の発表が相つぐ</li> <li>● 世間はグリーンライティングの登場を望んでいる</li> <li>● 台湾の大企業C社が新会社のFEL量産を検討している</li> <li>● ニッチ市場には現状のFELで勝負できる分野がある</li> </ul>	<p><b>Threats (脅威)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● LED照明が台頭してきている</li> <li>● 新光源なので認証取得に時間を要する可能性がある</li> <li>● 有機ELなど新光源の出現の可能性がある</li> </ul>

表 9-1 を分析すると以下のことがわかる。

FEL は現時点では未完成であるが、技術の完成時には多くの照明分野に使われる可能性のあるグリーンライティングである。しかし、LED 照明の台頭や有機 EL 照明などの業界参入が考えられ、しかも 2012 年に日本国内で白熱電球が製造・販売中止になり、その代替を狙うには、一刻も早く FEL 技術の完成をさせ、市場獲得争いに加わる必要がある。豊富な運転資金はないが、将来目標の住宅照明などメインストリーム市場に参入するためには、創業期の技術経営戦略が重要で、起業家精神を持った少数精鋭集団が、FEL 技術の完成、ニッチ市場での顧客獲得や台湾の C 社との提携などを戦略に則り効率よく実施していく必要がある。

将来に FEL がメインストリームの市場獲得争いに加わるためのシナリオをこれまでの分析結果に基づき以下のように予測した。(図 9-1)

白熱電球は 2012 年の製造・販売中止に向けて普及率は急激に下落し、2012 年経過後まもなく消えていくことになると予測できる。白熱電球の代替として、今後、電球型蛍光灯、LED 電球、そしてやや遅れて電球型 FEL の普及が増えていくと予測できる。そして LED 電球、電球型 FEL の性能が向上するにしたがって、水銀含有の電球型蛍光灯の普及が低下していくと予測できる。LED 照明と FEL は LED 照明がリードしたまま順調に普及率を上げていくが、ある時期に LED 照明の普及率が伸び悩んでくると予測できる。LED が点光源という理由から蛍光灯型 LED 照明で苦戦すると思われるからである。一方、FEL による蛍光灯の代替は順調に進み、その結果、FEL は LED 照明と後発の有機 EL 照明らと並ぶグリーンライティングとしての座をつかむと考えている。

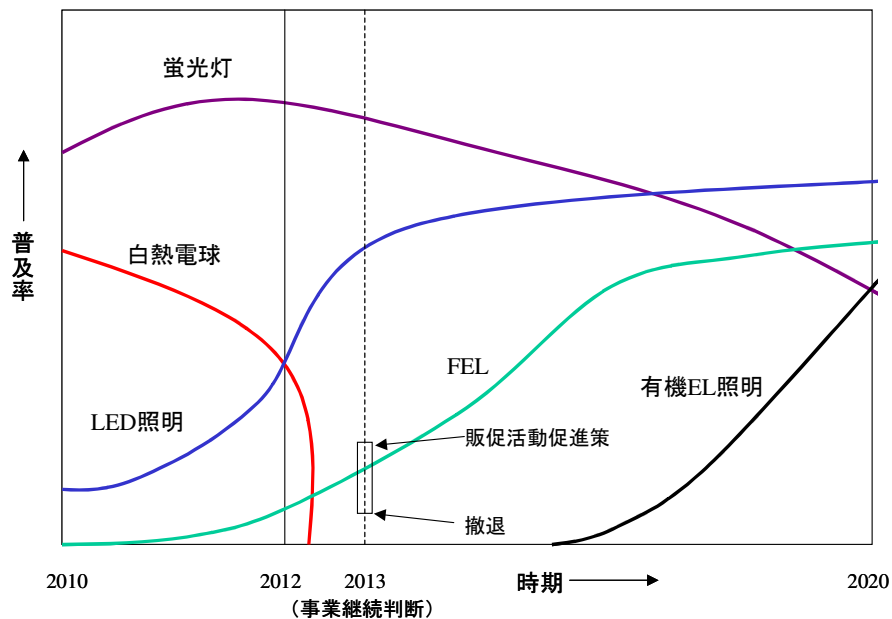


図 9-1. FEL の普及率予測推移のシナリオ

ただし、このシナリオにしたがって FEL の普及が推移していくための前提に、新会社の創業期にニッチ市場で実績を作ること、性能向上することがあり、また、有機 EL 照明は後発でありながら薄型平面照明という差別化を武器に急激な普及が予測されており、FEL にとっては時間の猶予はなく、8-5 で示した創業期における技術経営戦略が重要になる。

## 9-2. 新会社の組織戦略・外部機関との連携

### 組織戦略

新会社の組織は、ダイヤライトジャパンの技術成果を引き継いで再建しようと名乗り出ていただいた事業主にダイヤライトジャパンで技術開発を担当していたメンバーを加えた組織を基本組織とし、FEL の製品化を実現するための協力していただく外部組織からなる組織の構築を構想している。技術力の確保は、ダイヤライトジャパンが保有していた特許や研究設備は、破産管財人との交渉で安価に購入する手続きは完了しており問題はないはずであり、技術開発メンバーを獲得することも内定しているので、ゼロからのスタートでないことが大きなメリットとなる。また、これまでダイヤライトジャパンと業務提携していた企業の大半は今後も引き続き業務提携していただく見込みが付き、FEL の試作先や新規蛍光体の開発先などダイヤライトジャパン時代と変わらぬ開発体制が整いつつある。そして、最も喜ばしいことは、台湾の大手総合電機メーカーである C 社も引き続き業務提携していただくことのできた。C 社とは、C 社が提示する FEL の性能をクリアした時点で C 社の関連会社 D 社で FEL の量産工場を建てる提案書を C 社の担当部署が主体とな

ってC社に提出することになっている。このプランを是が非でも実現するようにお互いの協力体制の強化を図っていく。以上のように技術力の確保に関しては大きな問題は無いと考えている。

新会社は既存会社の一部門になるのではなく、著者が立案したサステナブル型経営手法を取り入れた新たな事業計画に賛同していただいた個人事業家のベンチャー企業である。新会社の社長となる事業家とは何回もお会いしているが、過去・現在においても自ら会社を設立・運営しているアントレプレナーである。新会社は社長と大手企業で社内ベンチャーの立上げに成功した社長の知人、そして著者を含めた元ダイヤライトジャパンの技術者で構成される予定である。運転資金は社長ルートで集めており、およそ5,000万円の資金で新会社を設立する見込みである。社長と前記知人は著者を含めたダイヤライトジャパンのメンバーとは考え方も付き合いのある人脈も異なり、異なる考え、人脈を結合させ、大きな力を生み出す組織経営が大きな武器となると考えている。資金に関してはダイヤライトジャパン時代の方が恵まれているかもしれないが、基本的な研究設備はすでに購入しており、慎重かつ大胆な経営を実施していく必要がある。著者は新会社の役員として特に技術面を采配していく。ダイヤライトジャパンの失敗の教訓を生かし上層部と従業員の壁を作らないことを実践していく。そしてダイヤライトジャパンが倒産したのはアントレプレナーシップの欠如があったことが大きく影響したと著者は理解しており、新会社のメンバーが全員アントレプレナーであることが何よりもの強みである。

ここで、新会社とダイヤライトジャパンの企業組織力の比較を行なった。(表9-2)

表9-2. 新会社とダイヤライトジャパンの企業組織力の比較

	新会社	ダイヤライトジャパン (DLJ)
経営者	起業家精神を持つ事業家	優れた技術力を持つ元会社役員
会社組織	起業家精神を持った少数精鋭集団	優秀な技術者集団と豊富なスタッフ
技術開発体制	DLJより人員・設備の規模で劣るが開発テーマを絞りROIの向上を図る	豊富な人員・設備であったが多くの研究開発テーマの対応で技術力が分散した
ターゲット市場	照明産業のニッチ市場での特定分野にフォーカスする	液晶TV用バックライト、X線源一般照明など多種に及ぶ
創業期の運転資金	必要最低限の準備資金と販売の売り上げで対応	VCなどからの出資で対応

筆者は技術ベンチャー企業が成功する秘訣は最高の技術力よりも研究シーズを事業化させるための経営戦略、そしてその戦略に則って何が何でも事業化を成功させるという強いコミットメントを持った集団にあると考えている。技術力に関して新会社はダイヤライトジャパンに比べてやや見劣りすることは否めないが、事業の運営に関しては新会社がダイヤライトジャパンを大きく上回り、再挑戦に向けての準備がほぼ整ったと考える。

## 外部機関との連携

ハイテク分野の技術ベンチャー企業が起業し事業を実践していくためには外部機関との連携が不可欠である。特に、将来の産業化を担うであろう大企業とコラボレーションできるか否かが技術ベンチャー企業の運命を決定するような大きな用件であると考えている。

技術経営論の大きな分野として、技術戦略論がある。技術戦略での主要テーマのひとつは、外部の技術資源を利用して、いかに迅速に開発を進めるかということである。つまり、いかに技術の内部蓄積と、外部利用とのバランスを図るかである。以前に米国では、開発、製造、販売と全部企業内でやるのが「よい会社」という考えが一般的であったが、競争の激化に伴い、現在ではバリューチェーンのすべてを一社で完結する考えは払拭されて、バリューチェーンのデコンストラクション（統合化されていたバリューチェーンが分解・再構築されるという現象）が行なわれている。デコンストラクションは企業の戦略により①レーヤーマスター、②オーケストレーター、③マーケット・メーカー、④パーソナル・エージェントの4つのモデルに類型化される。

上記4つのモデルは参考にはなるが、これらモデルはどちらかというとい前はバリューチェーンのすべてを一社で完結することができるような大企業のような会社がより効率よく事業を行なうために提案されたものに思える。また、技術を獲得することを目的とした技術提携も様々な形態があり、ライセンス、研究委託、共同研究、ジョイント・ベンチャー、マイノリティ・インベストメント（投資）などがその代表的な例であるが、これらもどちらかというとい大企業のような会社からみた形態のように思える。要するに、一般の技術戦略論の技術獲得戦略などは主として大企業のような会社の視点から考えた戦略であると考えてることができる。

上記のように、ハイテク分野の技術ベンチャー企業にとっては、外部機関との連携が不可欠であり、技術ベンチャー企業の視点から外部機関との連携について考察していく必要がある。

著者らの新会社の場合、大企業（台湾の大手総合電機メーカーであるC社）とのコラボレーションの内容は、FELの共同開発と、近い将来のC社でのFELの量産検討および販売検討である。C社にとってのメリットは、自社で初めからFELを研究するよりも、近い将来、著者らのFEL技術に関して新会社との契約で得ることができ、C社でFELの生産・販売することでC社に利益が発生する可能性があることであると思われる。一方、新会社にとっては、将来的に著者らのFEL技術を量産するパートナーになってくれる可能性があること、C社の技術者と共同開発することによるスピードアップ、C社との技術提携により対外的な信用度がアップするなどがある。そして、なによりも、C社による資金的援助が最大のメリットである。将来的にはライセンス収入が期待できるが、創業期の技術ベンチャー企業にとっては、将来の見込みの大きな収入よりも現実的な収入の方が重宝される。最近の不況により、共同研究費として資金を提供してくれることはそれほど多くない

ようである。ダイヤライトジャパン時代に C 社とはじめて共同研究することになった時点で研究費を要求したが、C 社の要求性能にまだ達していなかったで断られた。しかし、C 社とコラボレーションすることで、試作品や必要材料の有償提供が頻繁に発生し、しかも高価な金額で購入していただくので、それによる収入は創業期の技術ベンチャー企業にとっては非常に貴重なものとなる。

このように、技術ベンチャー企業と大企業のコラボレーションによる主な見返り（ベンチャー企業にとってのロイヤリティ収入や大企業にとっての売り上げなど）の時期はかなり将来になり、技術ベンチャー企業にとっては、大きな見返りを得るまでの継続的な資金政策が重要である。一つは大企業とのコラボレーションによる有償サンプルによる収入ともうひとつは大きな見返りを得るまでのメインの収入源になるニッチ市場での自社販売である。問題になるのがどこで商品を作るかである。試作品なら試作先で対応できるが、ある程度の量の商品になると、試作先では対応できない。しかし大企業にとっては、ニッチ市場での販売数には魅力を感じないであろう。新会社の場合の大企業である C 社は、既に C 社が保有していた設備の改造による FEL の試作設備が整っており、将来の量産設備検証の名目で、FEL の試作設備を増産できるようにさらに改造してもらい新会社用の FEL に特化した生産を行なってもらえるようにコラボレーションの契約事項に入れるように交渉していく。もちろんコラボレーションの基本は、ギブアンドテイクの関係であるので、新会社だけではなく、C 社にとってもプラスになる計画を立案する必要がある。この件に関して、新会社・C 社ともに採算がとれる計画を 8-5 で述べた。

事情は違えども、ハイテク分野の技術ベンチャー企業の多くは創業期に同じような環境にあると思われる。上記内容は一例であるが、技術ベンチャー企業は創業期の資金難を乗り越えるためのコラボレーションモデルを構築することが重要であると考えられる。

上記のことを図 9-2 に図示する。

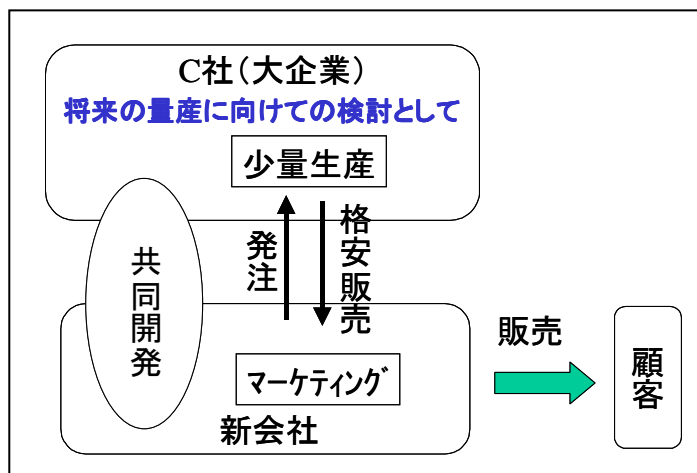


図 9-2. 技術ベンチャー企業が創業期の資金難を乗り越えるためのコラボレーションモデル

### 9-3. 起業実践と協力者の獲得

著者の場合、自ら資金を出して起業することができないので、FEL の事業実践をするには、本事業に賛同していただく支援者もしくは支援団体が必要である。本章で述べる起業実践とは、起業実践の母体となる会社設立を目指した著者の取り組みの事を指している。

米国型 J カーブ型ベンチャー経営を実践してきたダイヤライトジャパンの倒産後、筆者はその事業運営など振り返り、倒産原因を考察し、他のベンチャー企業の成功事例・失敗事例と比較・検証を行なった。その結果、日本においては、米国型 J カーブ型ベンチャー経営は有効ではなく、日本型サステナブル型ベンチャー経営が有効ではないかと推察した。

そこで、著者は日本型サステナブル型ベンチャー経営に基づく事業計画を立案し、協力者獲得の準備を進めた。今回の支援者を見つける取り組みに当たって、ひとりの一個人の献身的なサポートなくしては支援者を見つけることはできなかつたはずだ。その方とはダイヤライトジャパン存続していたときからお世話になっていた知人で、ダイヤライトジャパンとはビジネス的な取引は無かったが、応援をさせていただいていた。ダイヤライトジャパンが倒産しかけてからは、著者や平木会長に、引取り候補先を紹介していただいていた。その活動がようやく実を結んだのは、日本型サステナブル型ベンチャー経営に基づく事業計画を立案した後であった。2009年5月のある日に、アポイント先の大阪梅田のあるホテルで、前記知人の紹介で新会社の社長となる実業家とはじめてお会いした。大手証券会社を辞め、いくつかの事業を立ち上げてきた人である。多くの苦勞とそれ以上の喜びを経験してきた方で、著者より少し若い、ビジネスのプロといえる方である。事業計画を説明すると興味を持っていただいたが、もちろん即決で支援を決めていただく訳はなく、この案件を持ち帰り、早速可能性の調査を行なったようだ。その後、何回かお会いし、「一緒にやりましょう！！」とのお言葉を頂いたときのことは今でもはっきりと憶えている。日本型サステナブル型ベンチャー経営に基づく事業計画を立案前には、支援者が見つからず、事業計画立案後に支援者が現れたのは単なる偶然ではないはずである。

新会社での起業を実践していく上で、大企業との連携は不可欠と常々考えていた。ダイヤライトジャパン時代に共同開発をしていた台湾の大手電機メーカー C 社とは、倒産を契機に関係が途絶える可能性があった。著者はこのことを是が非でも避ける必要があると考え、倒産後も著者自身は C 社の研究グループのメンバーと交流を個人的に続け、彼らの信頼を失わないように心がけた。新会社設立が確定した時点で、著者は台湾に飛び、新会社でも引き続きの協力依頼を強く嘆願したところ快諾を得た。

## 第10章 日本型サステナブル型ベンチャー経営実践その3. 考察

### 10-1. 協力者獲得の成功要因

協力者獲得の成功要因に関してあくまでも私見ではあるが以下のまとめる。

#### 新会社の設立の支援をしていただく実業家の場合

日本型サステナブル型ベンチャー経営に基づく事業計画を提出したのも一因になっているかと思うが、以下のことの影響が大きいと考える。

- その方の祖父がガス器具の部品を発明し起業し成功を収めておられ、技術・技術者に対し敬意を表しており、技術者の起業を応援したい気持ちを持っておられた。
- 今回の起業が2回目の挑戦であったこと。即ち、1回目の技術成果や設備、協力先をかなりの部分で引き継ぐことができるので、資金面での負担低減や事業面での確度をつかみやすかった。

#### 台湾の大手電機メーカーC社の場合

C社の研究グループはダイヤライトジャパンとの共同開発の以前に英国のベンチャー企業と4年間のFED開発を行ってきたがよい成果が出ていなかった。研究グループはグループの存続をかけてダイヤライトジャパンのナノカーボンエミッタの共同開発を行っていた。C社が新会社への協力を快諾してくれたのは、自らの存亡がかかっていることが大きく作用したと推察する。このことは、スケールは違うが、Piri社に対するNTTの継続的な支援と類似した部分があると思われる。Piri社の事業が、NTTの命運を期する事業ミッションに繋がっていたため継続的な支援があったと推察できる。即ち、支援することで支援側に何らかのメリットがある場合、支援を受けやすいと考えられる。

著者は、C社との連携を最大限活かそうと考えている。

#### FEL 試作協力先の場合

ダイヤライトジャパンの時は、試作依頼に応じて試作をして頂いていたが、それ以上の拡がりはありませんでした。というのは、Jカーブ型ベンチャー経営でターゲットにしていた分野の液晶TV用バックライトや一般照明という巨大市場で、FELの量産化には規模的に試作協力先では難しかったので、試作依頼以上の関係はあまり望めなかった。

ところが、日本型サステナブル型ベンチャー経営でターゲットにしている分野は照明産業のニッチ市場であるため、商品化に進んだ場合、規模的に試作協力先でFELの商品化の可能性があるので、今後の事業展開を発展させる可能性があるかと踏んだためではないかと推察している。



## 10-2. 日本の経営環境とサステナブル型ベンチャーの可能性

日本は戦後に大量生産、多量販売方式によって経済を復興し高度成長を成し遂げてきた。その日本を支えてきた社会体制の仕組みは、終身雇用制、年功序列、労使協調、株の持ち合いや系列システム、談合、同族経営、学歴重視、権威主義、平均的能力の尊重、官尊民卑、横並び、突出を避け長年のしきたりやしがらみを重んじる等、日本的風土およびそれに基づく日本的経営の特質により構成されていた。グローバル化が進んだ現在においても、これらの特質は、なくなってきたとはいえ、社会全体からすると基本的には変わっていないと思われる。これらの特質は、ベンチャー大国である米国のベンチャー経営環境とは大きく隔たりがあり、日本で米国型Jカーブ型ベンチャー経営実践し、有効性が示されるのは容易ではなく、シリコンバレーのようなベンチャーを支える環境が整っていることが成功するための条件であるということはこれまでの考察で明らかになった。

一方、日本の大部分を占める中小企業の経営手法は、日本人の特質、産業構造、社会環境などに長年適合してきた経営手法である。日本においてベンチャー経営を実践するにもやはり日本の経営環境にマッチする必要がある、中小企業のサステナブルな経営をベースにベンチャー的な要素（新規事業創出）を加えた日本型サステナブル型ベンチャー経営が有効であると考えられる。

ただし、著者らの新会社の場合のような外部環境、即ち、ターゲット分野の動向によりメインストリーム市場への早期参入が必要な場合は、市場参入の機会を待つ戦略が成り立たないため、事業存続のためにサステナブル型経営をベースにはするが、事業ミッションが合致する大企業と早期に契約を結び、早期普及に向けた運命共同体的な連携が必要になると考えている。

## 第11章 結論と今後の課題

本研究は、著者自身の2度にわたる照明産業におけるフィールドエミッションランプ(FEL)開発事業実践事例を通して、日本における技術ベンチャーの経営戦略について論考したものである。FELの実用化・商品化を目指した著者自身の技術ベンチャー実践事例を調査分析することにより、日本における技術ベンチャーのもつ経営的課題とその克服法について考察したものである。

以下に得られた知見・示唆について述べる。

日本での技術ベンチャー経営においては、

1. 米国型Jカーブ型ベンチャー経営を志向すると以下に示すインフラの不整備がネックとなり、事業成功にはなかなか結びつかない可能性が強い。

- 資金調達面での限界（途中からVCの資金援助が途絶える。）

- VCによる有効なハンズオン支援の欠如

- 技術者や経営者自身のベンチャー事業経験およびノウハウの不足

2. 他のベンチャーの成功事例との比較分析より、米国のように豊富なVC資源を持たない日本におけるJカーブ型ベンチャーの成功には、

- 大企業を親会社としてあるいは提携先として継続的な支援を受ける。

- 米国資本との合弁として立ち上げる。

などの有効性が示唆された。

3. 日本型中小企業のサステナブル経営手法を取り入れ、大企業との連携やニッチ市場での顧客・収益確保な地道な活動により生存を続け、大きなイノベーションへの契機を待つことが有効である可能性が強い。その経営手法の特徴は、以下の4点に集約される。

- ニッチ市場における生産規模は少ないが固定顧客の得やすい事業展開

- 企業間連携を重視し、他企業や大企業との協業による事業展開

- 収益の急増は狙わず、手堅い事業経営の積み重ねにより、イノベーションの時機を忍耐強く待つ

- “和の経営”により、従業員の協調性、情報誌シェア、協調を重視した組織運営

これらの有効性の背景には、日本における企業風土・産業構造・各種事業インフラ整備状況などがはたらいてると考えられる。

ただし、著者らの新会社の場合のような外部環境、即ち、ターゲット分野の動向によりメインストリーム市場への早期参入が必要な場合は、市場参入の機会を待つ戦略が成り立たないので、事業存続のためにサステナブル型経営をベースにはするが、事業ミッションが合致する大企業と早期に契約を結び、早期普及に向けた運命共同体的な連携が必要になると考えている。

こうしたベンチャー経営モデル（これを日本型サステナブル型ベンチャー経営モデルと呼ぶ）は、日本における経営環境においては、米国型Jカーブ型経営モデルよりも、より適合する可能性が高いことが、著者自身の起業実践により示唆された。

今回提案した経営モデルの有効性については、今後の事業の進展を見ないと結論じみたものはいえない。今後、こうした経営方針によるベンチャー経営を実践し、事業を成功させることにより、今回得られた示唆の有効性を検証していく。

また、研究としては、より学問的に精緻な分析とより多くの事例との比較分析や統計調査などにより、今回得られた知見をより普遍的なものとして検証していく必要がある。

## 附録. FEL の技術的優位性と課題

### A-1. はじめに

本章では、FEL の基礎研究および照明産業に適応するための開発実践について述べる。はじめに FEL についての概要を述べ、次に著者らが開発したナノカーボンエミッタや静岡大学の研究グループと共同開発した蛍光体など FEL の構成材料について述べる。最後に FEL の商品化について、現状の性能と今後に向けての課題を述べる。

### A-2. 今後の照明産業で期待されるグリーンライティングの候補『FEL』

#### A-2-1. FEL とは

真空中で電界加速した電子を蛍光体に照射すると発光現象(cathode-luminescence)が認められる。FELはこのカソードルミネセンスを発光原理としている。(図 A-1) FEL 以外にもカソードルミネセンスを発光原理としているものはあるがその代表格が CRT である。CRT は赤熱したフィラメントから真空中に放出される熱電子を用いるが、FEL は電界電子放出現象 (フィールドエミッション) により真空中に放出されるトンネル電子をカソードルミネセンスに用いている。

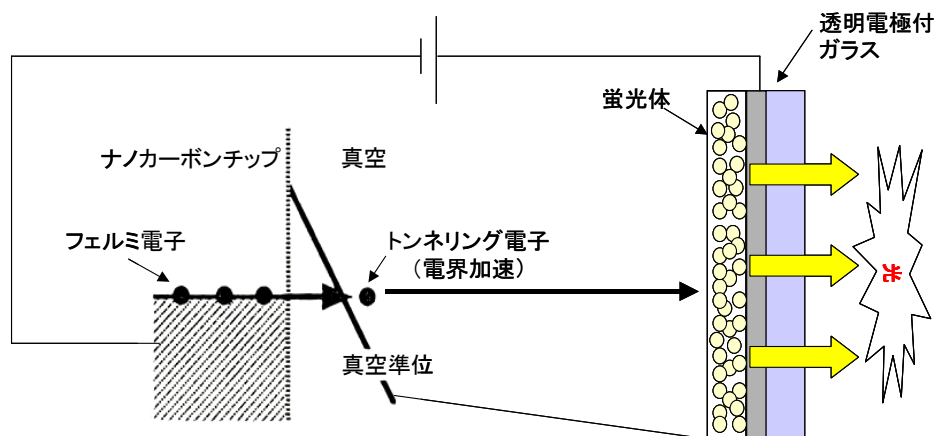


図 A-1. FEL の発光メカニズム

フィールドエミッションとカソードルミネセンス

カソードルミネセンスは真空中での発光現象であり、FEL は水銀を必要とする蛍光灯などとは違うグリーンライティングの候補になることができる。

FEL の主な特長を以下の示す。

①水銀不使用である。②高い発光効率(1m/W)が期待出来る。③高輝度 (10 万 cd/m<sup>2</sup> 以上可能) である。④低発熱発光である。⑤瞬時点火性を示す。⑥高い演色性をもつ。⑦長寿命

(現在のところ、1万時間以上可能)である。⑧非点光源で、目に優しい発光である。I⑨高い調光性をもつ。⑩広い使用温度範囲である。⑪真空 ( $10^{-2} \sim 10^{-4}$ Pa) 内動作である。⑫高電圧 (3kV $\sim$ 10kV) 駆動である。

## A-2-2. FELの構造

FELは、真空中でのフィールドエミッションにより電子を放出するエミッタ (陰極) とエミッタから放出され、真空中を電界加速した電子が衝突し、そのエネルギーを可視光に変換する蛍光体などからなる陽極で構成されている。陽極 (アノード) と陰極 (カソード) で構成されているものを2極構造と呼んでいる。また、アノードとカソードに加え、ゲートやグリッドと呼ばれる第3電極とで構成されているものを3極構造と呼んでいる。

(図A-2)

注)図A-2はフィールドエミッションディスプレイ(FED)の構造を示した図であるが<sup>A-1)</sup>、FEDとFELは基本的な構造はほぼ同じであるので引用させていただいた。

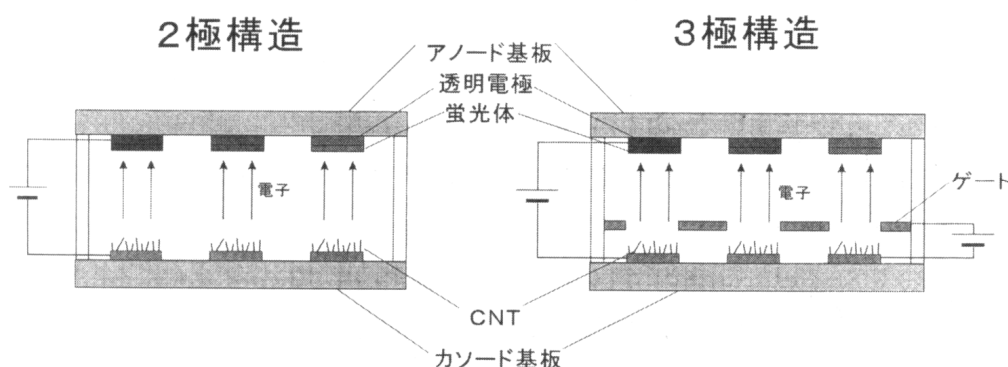


図 A-2. FELの基本構造 (出所: フィールドエミッションディスプレイ技術)

このように FEL は FED の構造・技術から派生した技術であり、元々は平面ランプから始まったといえる。しかし、照明産業に目を向けると、平面ランプは次世代照明として期待されているが現状は、蛍光灯などの管型ランプや白熱電球などのバルブ形状が主であり、管型形状やバルブ形状の FEL を開発することの意義は大きいと考えた。特に管型形状の FEL を開発するには、蛍光灯のように 360 度に発光させる必要がある。そのためには、図 A-3 に示すような、全方位に電子を放出する線状エミッタの開発が必要である。詳しくは、後述するが、筆者らはワイヤ状エミッタを開発したことにより、蛍光灯のような管型形状の FEL を作製することが可能となった。この成果は照明産業における事業展開に大いにプラスとなった。

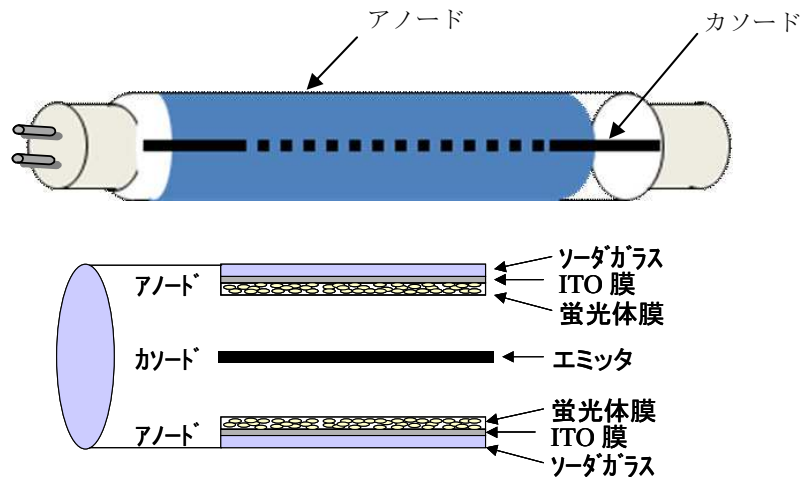


図 A-3. 線状エミッタによる管型 FEL の構造

### A-3. FEL の基礎研究 (エミッタの高性能化を目指した研究)

#### A-3-1. ナノカーボンエミッタとは

##### A-3-1-1. ダイヤモンドエミッタからナノカーボンエミッタへ<sup>A-2)</sup>

A-2-2 で述べた FEL の構造でエミッタは非常に重要な役割を果たし、著者らの研究の中心テーマである。はじめに著者らがナノカーボンエミッタの研究をはじめるといった経緯から論じることとする。著者らのナノカーボンエミッタ研究の起源は大阪大学名誉教授・高知工科大学名誉教授である平木昭夫教授（現大阪大学特任教授）の研究成果である「人工ダイヤモンド低温作製技術」に由来する。平木教授らは、この技術を応用した、平成9年よりスタートした四国初の地域コンソーシアム「次世代フラットパネルディスプレイ技術の開発」でダイヤモンド冷陰極電子エミッタの研究・開発を行なった。ダイヤモンドは電子を放出しやすい性質をもつ。それは、この物質が持つ「負性電子親和力 (Negative Electron Affinity : NEA) のためであるといわれてきた。元来、この NEA の存在は、20年以上の昔に研究された天然ダイヤモンド（合成ダイヤモンド研究よりもずっと前）の表面物性の基礎研究により指摘され、かなり漠然と、しかし期待をもって上記の言葉が発せられてきたのである。NEA とは、半導体の伝導帯の底が真空準位より高いという特異な現象で、ダイヤモンドや AlN など一部のワイドギャップ半導体にのみ報告されているものである。そして、その原因は例えばダイヤモンドの場合、そのワイドギャップに加え、表面に吸着された水素 (H) と、表面の炭素 (C) との電気陰性度の違いにより誘起される電気二重層によるものと説明されている。何れにせよ、NEA 半導体の場合何らかの方法で“電子を伝導帯に注入してやれば”その表面から、あたかも湯気のごとく電子が放出され

るはずである。したがって、“ダイヤモンドは将来性に富む電子放出用のエミッタ材料となり得る”と考えられ研究のターゲットになったのである。CVD法で形成したダイヤモンド薄膜をカソードとして、真空中で電圧を印加していくと膜より数mm離れたアノードに電子が飛び込み、電流として計測される、いわゆる電子放出現象が認められた。しかし、NEAの効果で期待される湯気のごとく電子が放出されるところまでには行かなかったようである。そして、実際のダイヤモンド薄膜はいかにして電子を放出するのか、その電子放出メカニズムを明らかにしていくことで、徐々に興味の対象がダイヤモンドエミッタからナノカーボンエミッタへ変わっていた。

### A-3-1-2. 炭素系材料からの電子放出メカニズム

CVD形成ダイヤモンド薄膜をはじめ、カーボンナノチューブ（CNT）やナノウォール（CNW）など、電子放出現象を示す炭素系材料において、電子エミッションの度合いを支配するものは電気伝導性の良いグラファイトの存在であると考えられる。

CVDで形成された多結晶ダイヤモンド膜が粒塊の大きさに反比例するエミッション電流を示すことがわかり、粒界に存在するグラファイト層の数と伝導性がこの現象の原因であると判断できた。

このことは、CVDダイヤモンド膜中のグラファイト成分を増加させるような作成条件、つまりあまり良質なダイヤモンドができないような作製法による薄膜のほうが、良質なダイヤモンド薄膜より良いエミッション特性をもつことから理解できる。

つまり、電子を放出するダイヤモンド薄膜とは、図A-4に示すように電気絶縁性の高いダイヤモンド粒塊のすき間、すなわち粒界に存在する伝導性の高いグラファイト層またはナノグラファイトチップと呼ばれる板により構成されているものとみてよい。もちろんダイヤモンド粒塊という支えがなく自立するナノグラファイトチップのみでもエミッタとなり得る。これらがまさにCNTやCNWなどである。

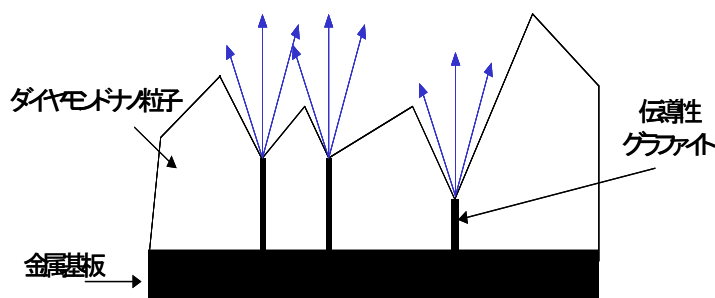


図 A-4. ダイヤモンド薄膜の電子放出モデル

これらの炭素材料からの電子放出のメカニズムは、すでによく知られているスピント（Spindt）型電子源のそれと同様に説明できる。伝導性の高いナノグラファイトチップを

金属表面上の微小突起部分とみなすと、図 A-5 に示されるように、強電界下で真空準位が傾き、金属の突起部よりフェルミ準位の電子がトンネリングで飛び出す金属での電界放射現象と類似する。

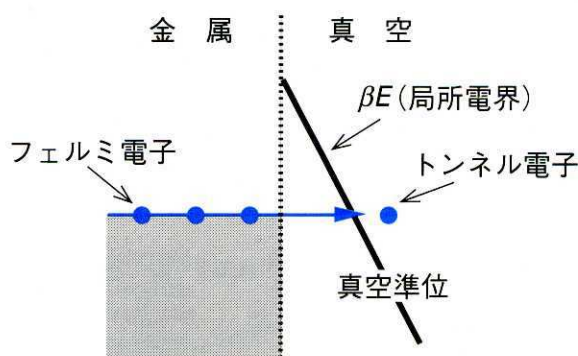


図 A-5. 電子の電界放出現象モデル  
( $\beta$  が大きいほど急傾斜でトンネルしやすい)

“微小突起”は、その形状によって突起の先端に掛かる電界が、電界  $E$  よりも  $\beta$  倍増大され、 $E_{loc} = \beta E$  で表現される強い局所電界が掛かり、トンネリングを誘起する。突起を簡単のため長さ  $l$  で先端曲率半径  $r$  の伝導性チップと考えると、 $\beta \sim l/r$  の関係がある<sup>A-3)</sup>。

さて、電界印加に基づくエミッタからの放出電子電流密度  $J$  は、一般的には次の Fowler-Nordheim の式で記述される。

$$J = aE^2 \exp\left[\frac{-b\phi^{3/2}}{\beta E}\right] \quad (1)$$

ここで、 $a$ 、 $b$  は定数、 $E$  は電界、 $\phi$  は電位障壁高さである。さらに、放出電流が極めて高くなると空間電荷 (space-charge) の影響も考慮しなければならない<sup>A-4)</sup>。

したがって、 $J$  の表現はさらに複雑となる。しかし、ここでは詳しい議論を省略し、「よいエミッタとは高い放出電流密度を示すものである」という見地から、この  $J$  はグラファイトのチップまたは突起 (rod) の密度:  $N$ 、局所電界:  $E_{loc} (= \beta E)$ 、1 本の rod のコンダクタンス (抵抗の逆):  $C_{rod}$  で決まるという意味で、

$$J = f(N, C_{rod}, E_{loc}) \quad (2)$$

で表現することができる。

そして、この(2)式は高い放出電流を得るには、(イ) rod (s) の数が多い、(ロ) 各 rod のコンダクタンス ( $C_{rod}$ ) が高い、(ハ) 局所電界が強いという必要条件を示す抽象的な式であると考えていただきたい。この条件は当然の結論であるが、一つ注意すべきは、 $N$  があまり大きすぎると逆に電流密度が低下するということである。その原因は、“スクリーニング (screening) 効果”のためである。図 A-6 にスクリーニング効果の説明図を示す。



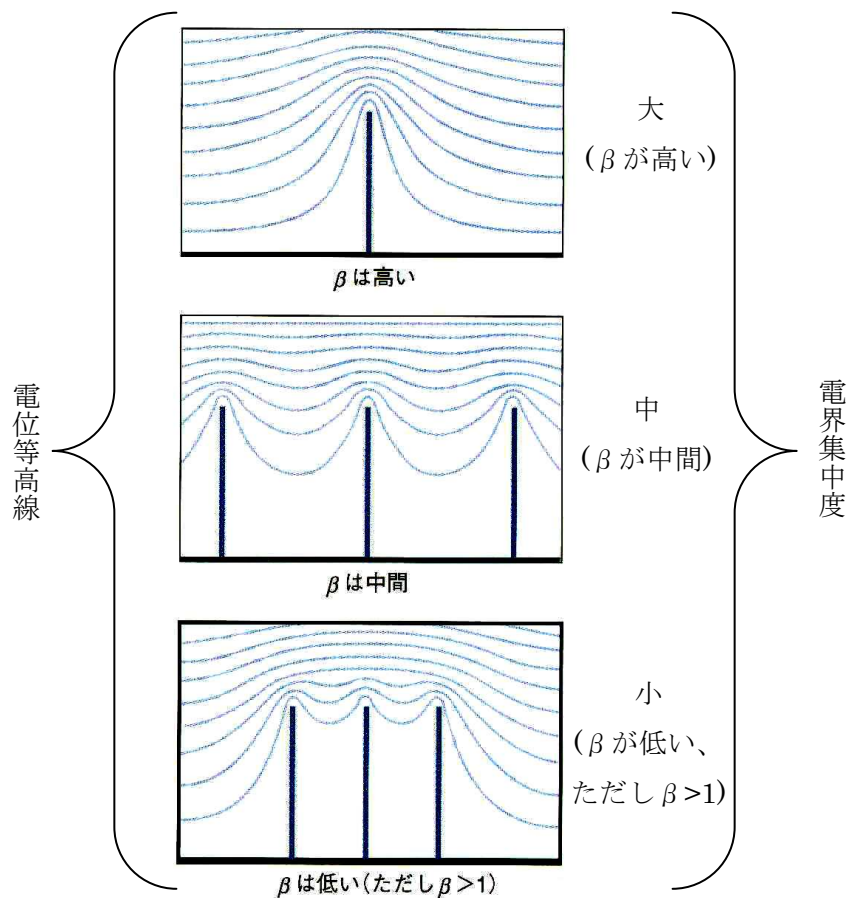


図 A-6. 同じ性能をもつ金属 rod の本数による電界集中の差異(シミュレーション)  
 本数が多いほど集中度( $\beta$ )、したがって局所電界( $E_{loc} = \beta E$ )の強さは下がる

rod 数が 1 本のとくと 3 本のとくとでは明らかに電位等高線の様子、したがって電界集中の度合いが異なっており、3 本のほうが局所電界は弱いことがわかる。このことは、無数に rod を並べると、rod(s)の尖端が一つの平面(金属面)を形成することになり電界の集中が起こらないことから推論できる。この効果をスクリーニング効果といい、理想的な電界集中効果による強い局所電界を得るには、rod(s)間の間隔を各 rod の高さを  $\ell$  とするとき、 $\ell \sim 3\ell$  に保つ必要があることが示された。<sup>A-5)</sup>

このことから、高いアスペクト比をもつ、 $\ell$  の大きな 1 本の rod は強い局所電界を期待できるが、大きな rod(s)間の間隔が必要なため rod(s)の総数  $N$  は制限されることがわかる。

したがって、(2) 式での  $J$  を最大にするには、最もふさわしい rod の高さ ( $\ell$ ) と rods 間の間隔 ( $\ell \sim 3\ell$ )、すなわち  $N$  を選択すべきである。

そのため (2) 式は、

$$J = \alpha_{scr.} f(N, C_{rod}, E_{loc}), \text{ ただし } 0 < \alpha_{scr.} \leq 1 \quad (3)$$

と書くべきかもしれない。もちろん  $\alpha_{scr.}$  は  $\ell$  と  $N$  の関数である。

以上に述べた諸ファクタを考慮して、筆者らは次に説明する数種のエミッタを設計し作製した。

### A-3-1-3. ナノカーボンエミッタ作製への設計原理

はじめに、上記のことを考慮して、平木教授らが開発したナノシーディング技術によるエミッタの室温作製法を紹介する。<sup>A-6)</sup>

伝導性の良い基板の上にグラファイトの突起を規則的に配列することを考えてみる。2種の高さ $l_1$ と $l_2$ の突起（簡単のため長さ $l_1$ と $l_2$ の太さが同じのカーボンナノチューブと考える）を、スクリーニングの効果を考慮に入れて、(3)式で $\alpha_{\text{screening}} \sim 1$ となるよう二次元的に配列すると、その間隔は $l_{1(2)} \sim 3l_{1(2)}$ であるべきであるが、 $l_{1(2)}$ とすると、図A-7のようになる。

もし、突起のコンダクタンスが両方とも同じ ( $C_{01} \sim C_{02}$ ) であれば、 $\beta$ が両方で $l_1/l_2$ 倍異なり、突起の総数では $(l_1/l_2)^2$ 倍異なるため、明らかに突起長 ( $l$ ) の短い $l_2$ のほうが(2)式より $(l_1/l_2)$ 倍（ただし、 $l_1 > l_2$ ）大きいことが結論される。例えば $l_1 \sim 1 \mu\text{m}$ 、 $l_2 \sim 100 \text{nm}$ とすると、電流値に10倍の差があることになる。この議論は荒い前提に立っているが、筆者らはプロセスなど技術的条件を考えて突起の長さ ( $l$ ) は $\sim 100 \text{nm}$ 程度が一番現実的だと考え、このようなエミッタ膜を設計・形成を試みた。このことは、通常、作製されているカーボンナノチューブエミッタの場合、チューブの長さが数 $\mu\text{m}$ の場合が多いことを考えるとおもしろいことである。

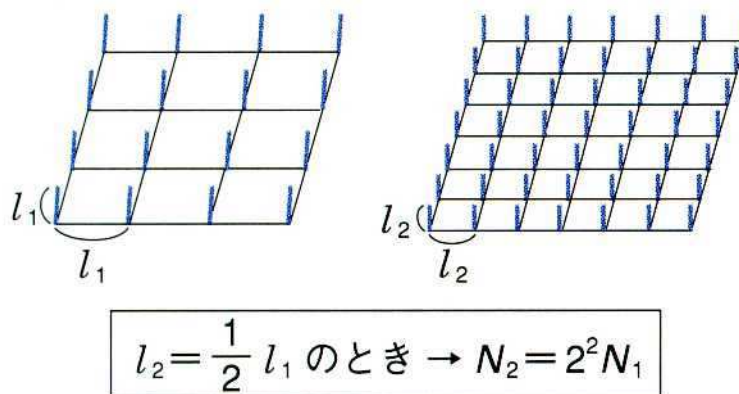


図 A-7. 電子放出にとって理想的な間隔をもつ長さの異なる ( $l_1$ と $l_2$ )  
カーボンナノチューブ (rods) の配列でのエミッションサイト  
( $N_1$ と $N_2$ ) の差

この設計概念によってエミッタ膜を作製していくが、平木教授らは図A-8のような電子放出素子膜をガラス上に形成することを考えた。すなわち、ガラス基板の上にメタルまた

は透明導電性をもつ ITO を電極（これはカソードとなる）として蒸着し、その上に 100 nm 程度の大きさをもつナノダイヤモンド粒子をナノシーディング法により付着させた。

それから、室温にてカソーディックアーク法により、数 10～100 nm の厚さのグラファイト性が強い  $sp^2$  炭素膜を、そしてその上に極薄のダイヤモンド性つまり絶縁性をもつ  $sp^3$  炭素膜（ナノ粒子ダイヤモンドでもよい）をそれぞれ堆積させる。カソーディックアーク法は、平木教授と親交のある英国ケンブリッジ大学の Milne 教授の研究室にて、炭素膜によるエミッタの形成によく使われる方法である。カソーディックアーク方法の特徴は図 A-9 の装置で  $C^+$ イオン（プラズマ）のエネルギーを変えることで、室温にて容易に  $sp^2$  と  $sp^3$  の堆積を連続的にできることであり、カソーディックアーク法によりガラス基板上の電子エミッタの室温形成が可能になったのである。この  $sp^3$  膜は図 A-5 で説明した電子のトンネリングを促進させる働きをする（先述の NEA 性が効いている）のである。エミッタの主体である（伝導性）グラファイト層の上に極薄の NEA ダイヤモンド[窒素(N)ドープが良い]層を付着してやると、電子放出が増大するという考えが幾つかの論文で提案されている。

窒素はダイヤモンドの伝導帯の底から 1.7eV の深さにドナー・レベルを作る。N を多量にドープしてやると、ダイヤモンドのフェルミレベル ( $E_F$ ) の位置は殆ど、このドナー・レベルの近くに来るので、グラファイト ( $SP^2$ ) /NEA ダイヤモンド ( $SP^3$ ) 系のバンドダイヤグラムは図 A-10(a) のようになる。この系に強いアノード電界（グラファイトはカソード）を加えると、 $SP^2/SP^3$  界面の空乏層は極端に薄くなり、図 A-10(b) のように、 $SP^2$  側から  $SP^3$  へ向けてのトンネリングが容易となり、しかも NEA 性のため、トンネル電子は真空中に放出され易くなる。つまり、電子放出能の増大が期待されるが、この様に室温で形成されたエミッタは結構良い電子放出能を示した。この特性は次に述べる各種エミッタの中でナノサイズのシリカボール上にグラファイト膜を CVD 形成したものとほとんど類似であったので、データの図示は省略する。

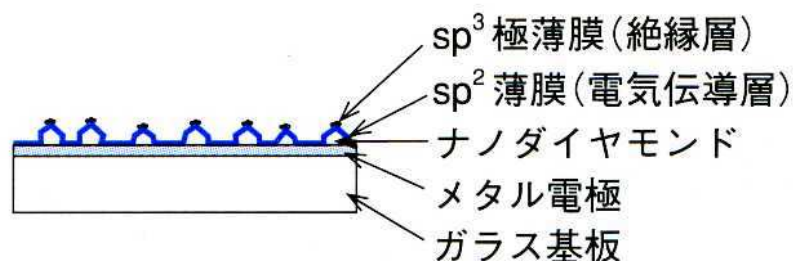


図 A-8. 電子放出（エミッタ）素子の構造

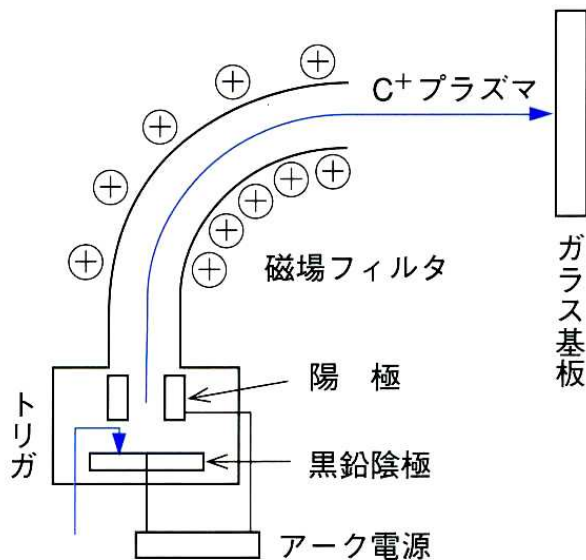


図 A-9. カソードイックアーク成膜装置概略図

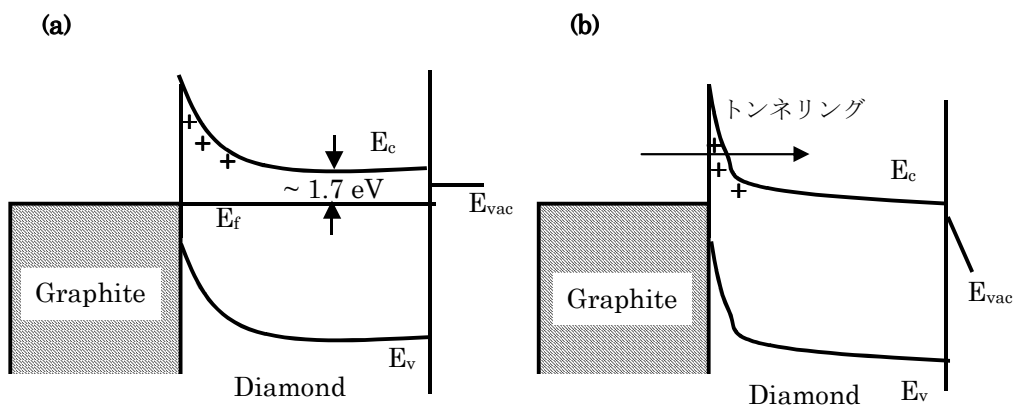


図 A-10. グラファイト/NEA ダイヤモンド系のエネルギーバンド図  
(a) 印加電界なし (b) 印加電界あり

### A-3-2. プラズマ CVD 法によるナノカーボンエミッタの成膜方法および電子放出特性

上記エミッタ室温作製法以降、筆者らは各種方法でナノカーボンエミッタを作製してきたが、それらのことを述べる前に、なぜナノカーボンエミッタが良いのかを説明する。それは、①頑丈である（これは、プラズマ中でも形成されることから理解しやすい）、②高い熱伝導を示す（ナノ構造を流れる電流密度は高いから、熱放散は必須である）、③ダイヤモンド（水素終端）は NEA を示す（A-3-1-1 で述べたように、直接 NEA 性が効果的であ

るという報告はないが、後述でのエミッタ特性の向上にナノダイヤモンドの NEA 性が寄与し得る)、④エミッタ性を示すナノカーボン膜の作製が条件さえ整えば、極めて容易である、⑤その他種々の利点(例えば、低真空[ $10^{-4}\sim 10^{-6}$ Torr]作動)をもつが説明は省略する。

#### (a) シリカボールエミッタ

A-3-1-3 で述べた設計原理によって、まず 100 nm サイズの市販のシリカ球をエタノール溶液中に分散させ、これを超音波洗浄した高伝導の  $n^{++}\text{Si}$  基板上にスプレー付着させ、60°Cでのエタノール脱着処理を施すと、シリカ球は図 A-11 のように基板に密着して美しく配列する。この上から、熱フィラメント法によりグラファイト膜を成膜すると図 A-12 に示す電子放出特性をもつエミッタ膜が作製できる。<sup>A-7)</sup>

本研究でのエミッタの電子放出特性の評価は以下の2つの値で行った。ひとつは閾値電界 ( $\text{V}/\mu\text{m}$ ) の測定であり、 $10\ \mu\text{A}/\text{cm}^2$  の電流密度を得るのに必要な値である。これを  $E_{\text{th1}}$  とする。もうひとつとは  $1\ \text{mA}/\text{cm}^2$  を得る電界値 ( $E_{\text{th2}}$ ) である。もちろん、これら電界値が低い程、

一般には良いエミッタといわれる。このシリカ球エミッタの電子放出特性は  $E_{\text{th1}}=8.5\text{V}/\mu\text{m}$  及び  $E_{\text{th2}}=11\text{V}/\mu\text{m}$  である。

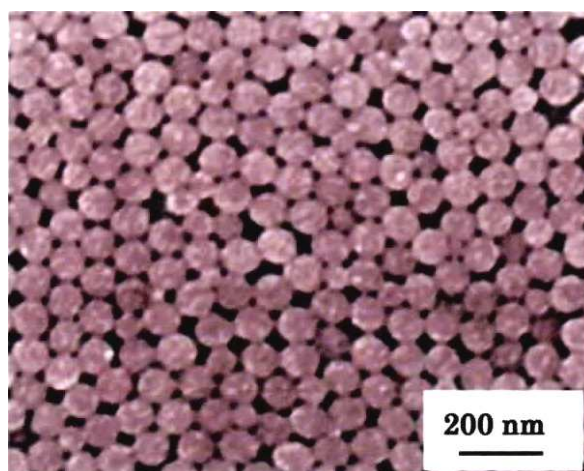


図 A-11. シリカ球配列の SEM 像

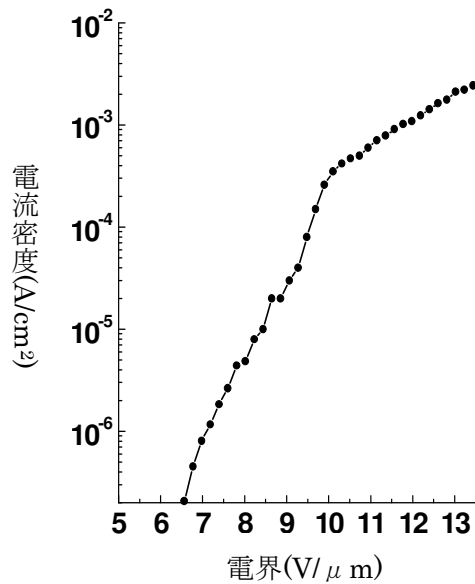


図 A-12. シリカ球上のナノカーボン膜の電子放出特性

(b) カーボンナノウォール(CNW)エミッタ

上記2つのエミッタは A-3-1-3 で述べた設計原理に従って、人工的に制御して作製したエミッタであるのに対し、これから述べる2つのエミッタは、人為的ではなく自然に、結果的には設計原理で説明出来る高い電子放出能を示す。これらのエミッタは、DC プラズマ CVD 法により成膜されるが、ダイヤモンド合成に用いられるメタン (CH<sub>4</sub>) ガスと水素 (H<sub>2</sub>) の混合比をダイヤモンド生成の条件から少し外れた (グラファイトがしやすい) 時、生成される。具体的な作製条件の一例を表 A-1 に示す。

表 A-1. CNW エミッタの代表的な作製条件

成膜方法	DCプラズマCVD法
基板	ニクロムなどの金属線
	ニッケルなどの金属板
基板温度	約1000°C
混合ガス比	CH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub> =1:125
ガス圧	75torr
投入電力	4kW
成膜時間	90min

表 A-1 の条件で作製したエミッタの表面構造の SEM 像を図 A-13 に示す。このナノカーボン膜は、厚みが数 nm で高さが数 μm の壁が迷路のように入り組んでいるためカーボンナノウォール (Carbon-nano-wall:CNW) と名付けられている。電界はその稜線 (図では白く見える) に集中する。都合が良いことに、これら稜線間が数 μm の間隔を持ち、自動的に先述のスクリーニング効果の条件を満している。その結果、電子放出特性は E<sub>th1</sub>=1V/μm 及び E<sub>th2</sub>=1.5V/μm を示し、更に電界を高めると簡単に 100 mA/cm<sup>2</sup> の電流が得られるという極

めて優れたエミッタ特性である (図 A-14)。これらの値は測定電極間隔 1mm において得られたものである。

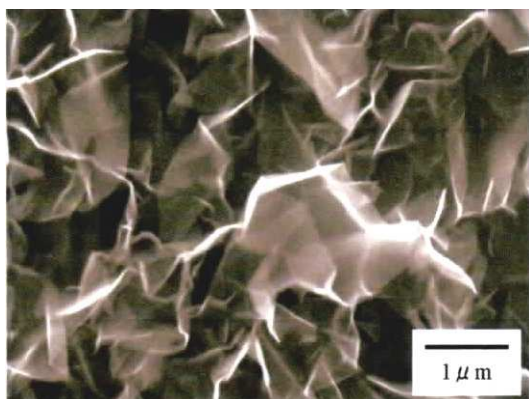


図 A-13. CNW の SEM 像

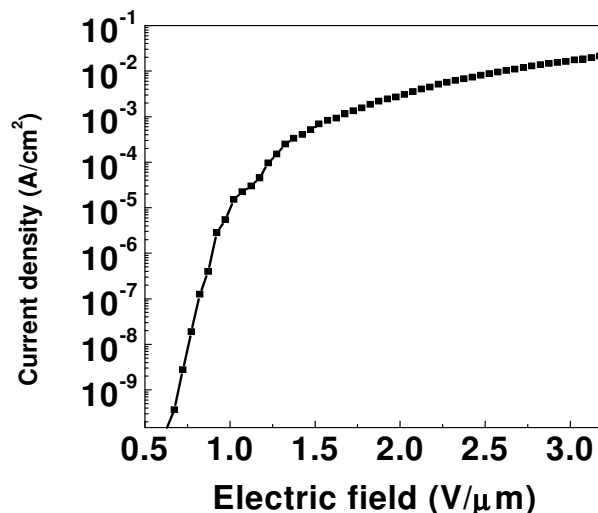


図 A-14. CNW の電子放出特性

CNW の物性をさらに調べるために、CNW の構造解析を行った。解析は、高分解能 TEM による格子像観察およびレーザーラマン分光法による結晶性評価を実施した。高分解能 TEM による格子像観察結果を図 A-15 に示す。観察箇所は CNW の壁状部分の先端である。図 A-15 を詳しく解析した結果、CNW は十数層の格子から構成されていることがわかった。その格子間隔は 0.34nm であり、グラファイトの(0002)面の格子間隔と一致した。したがって、CNW は十数層のグラフェンシートでできていることが明らかとなった。CNW の構造をより概念的に表現するとカーボンナノチューブ (CNT) がグラフェンシート) の 1 層又は数層がまるまってチューブになるのと異なり、十数層が重って壁 (wall) を作るものと考えられている。(図 A-16)

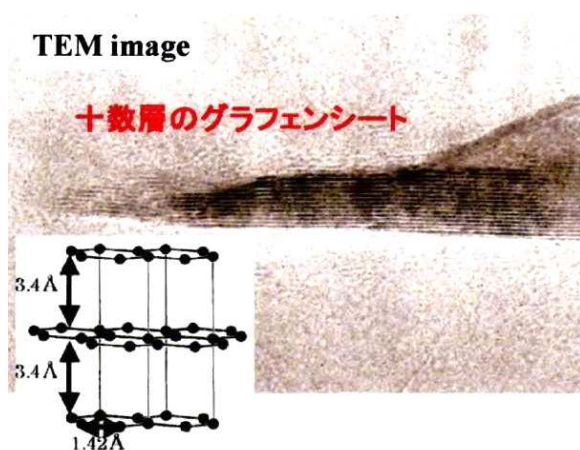


図 A-15. CNW の高分解能 TEM 像

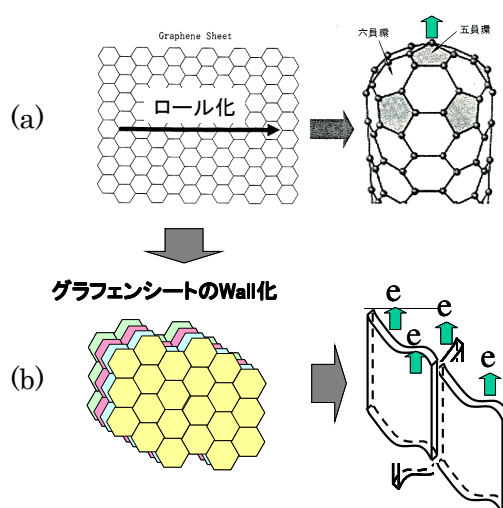


図 A-16. CNT(a)と CNW(b)の構造比較

レーザーラマン分光法による結晶性評価を図 A-17 に示す。炭素系材料のラマンスペクトルに見られる G バンド(1580 $\text{cm}^{-1}$ 付近)と D バンド(1350 $\text{cm}^{-1}$ 付近)のピークが観察され、G バンドはシャープで強いピークで、D バンドの強度は弱い。G バンドは  $\text{SP}^2$  結合の伸縮振動起因のピーク、D バンドは結合の乱れを示すピークと解釈されている。したがって、G/D が大きい程結晶性がよいと考えることができ、CNW は結合の乱れが少ない結晶性のよい膜といえる。結晶性のよさが CNW の優れた電子放出特性の一因を担っているものと考えている。

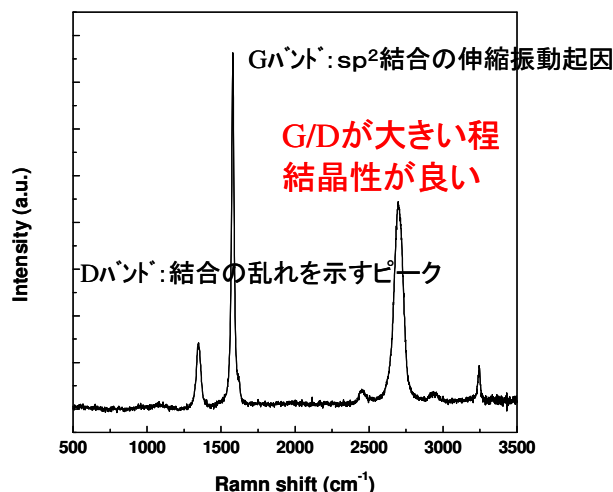


図 A-17. CNW のラマンスペクトル

### (c) カーボンナノイグジット(CNX)エミッタ

CNW エミッタのさらなる高性能化を目指しての試行錯誤で、より高い放出能を示し、しかも、作製時間が短かく量産性に適したエミッタが作製できるようになった。このエミッタを CNX と名付けた<sup>A-8)</sup>。電子の放出出口 (eXit) をもつカーボンナノ材料という意味である。表 A-2 に CNX と CNW エミッタの比較表を、また図 A-18 に CNX の電子放出特性を示す。 $E_{th1}=0.5\text{V}/\mu\text{m}$  及び  $E_{th2}=1.1\text{V}/\mu\text{m}$  であり、さらに  $2.5\text{V}/\mu\text{m}$  で  $100\text{ mA}/\text{cm}^2$  の電流が得られ CNW よりも優れたエミッタ特性である。CNX の電子放出特性は、世界中から報告されているエミッタの中でも 1,2 位を争う性能である。

表 A-2. CNX と CNW の比較

1) 閾値電界の低減	
CNW	CNX
$1.0\text{V}/\mu\text{m}$	$\rightarrow 0.5\text{V}/\mu\text{m}$ ( $10\mu\text{ A}/\text{cm}^2$ )
$1.5\text{V}/\mu\text{m}$	$\rightarrow 1.1\text{V}/\mu\text{m}$ ( $1\text{ mA}/\text{cm}^2$ )
	$\rightarrow 2.5\text{V}/\mu\text{m}$ ( $100\text{ mA}/\text{cm}^2$ )
2) 作製時間の短縮	
1.5hrs	$\rightarrow$ 5mins



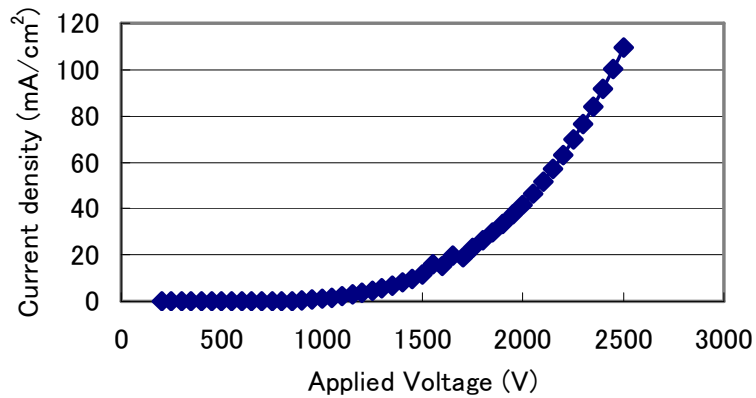


図 A-18. CNX の電子放出特性（測定電極間距離：1mm）

CNX の構造の SEM 像を図 A-19 に示す。この CNX は背の低い（従って短時間で出来る）CNW の壁の囲みの中に成長した竹の子状突起である。この突起を観察すると、直線状カーボンニードル（100nm 程度の径）のまわりに多数の CNW が巻きつくように成長していることがわかる。カーボンニードル底部の CNW は大きく、カーボンニードル上部の CNW は小さいことから、CNX は図 A-20 に示すようにはじめにカーボンニードルが成長し、続いて CNW の核形成および成長がカーボンニードルの底部から上部に向かって進んでいくと推察できる。

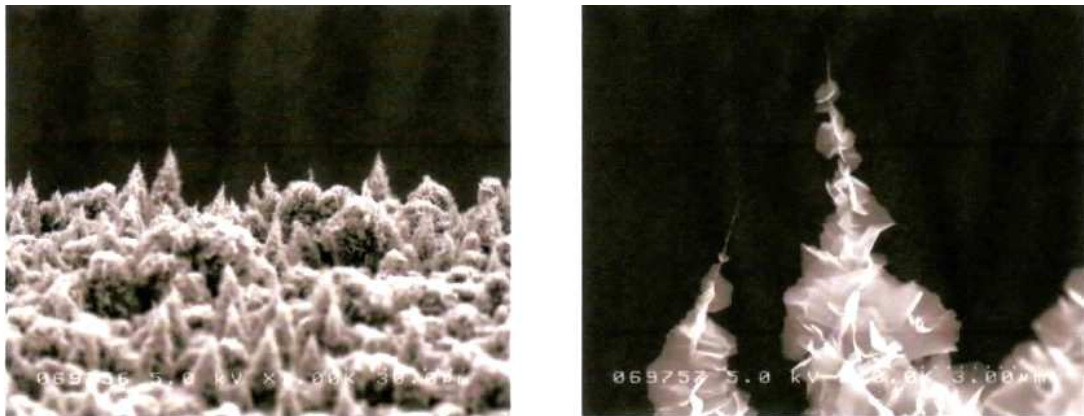


図 A-19. CNX の SEM 像

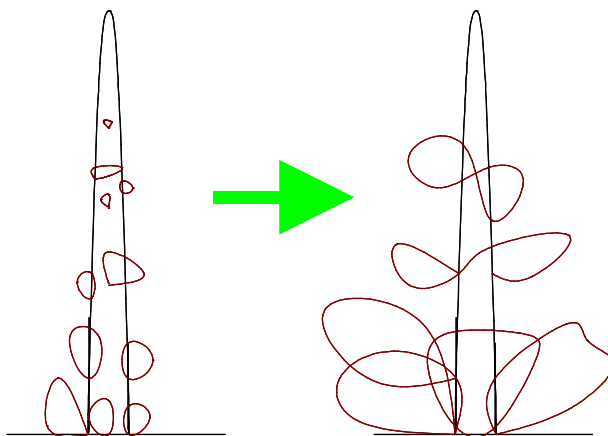


図 A-20. CNX の推定成長過程

次に、CNX はなぜこのような特異な成長をするのかを考察した。CNX の形成メカニズムは、ナノテクノロジーの分野での量子ドットや量子細線など 1 次元ナノ構造の形成 (1D-growth) のそれと類似する。すなわち、限定された場所を指定し、その部分内にナノ物質を作製または堆積する方法の一つである template assisted formation (又は deposition) に類似している<sup>A-9)</sup>。この CNX の場合図 A-21 (b) にモデル的に示すように、template の役目は背の低い CNW の囲みが果たしていると考えられる。プラズマからの活性種 ( $\text{CH}_3^+$ ラジカルなど) が付着確率の高い CNW-template の中心部に選択的に付着し螺旋階段を昇るが如く竹の子状に成長すると考えられる。そのため図 A-21 (a) に認められるように、太さや高さがほぼ揃った突起群が形成されると考えられる。この突起は Spindt 型エミッタと似た形状をしており、使用時の安定性と長寿命が期待できる。

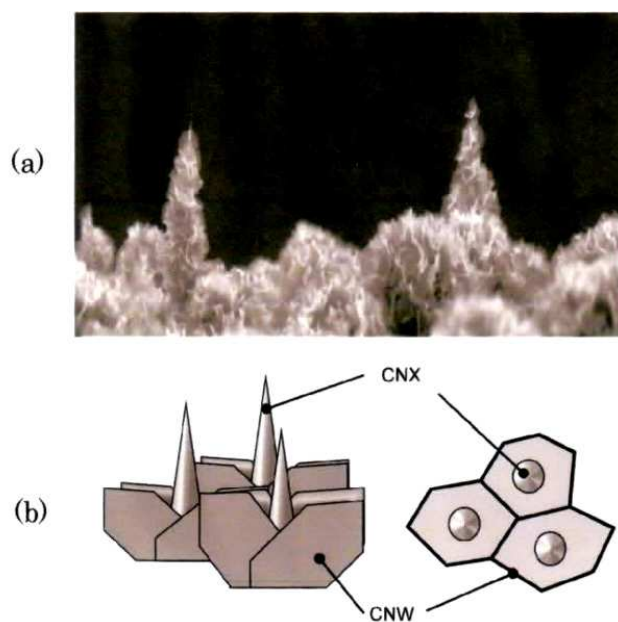


図 A-21. CNW の wall 内に成長した CNX の SEM 像(a)と成長モデル(b)

## A-4. FELの開発実践 (FELの生産技術)

### A-4-1. FELの製造プロセス

製造プロセスには多くのノウハウがあるため、すべてをオープンすることができないため、FELの製造プロセスの概要のみを説明させていただきます。

FELの製造プロセスは大きく4つに分かれており、①陽極部材の加工、②ステム部材の加工、③両部材を使つての組立、④排気の4工程である。

以下に各工程の詳細について述べる。

#### ①陽極部材の加工

■ガラス管のカット、洗浄・乾燥

■ガラス管内壁のITO膜の成膜

●管内壁にITOペーストを回転式流し込み法で塗布する。

●空気中で180°C、10~20分乾燥させた後400~600°Cで30~60分焼成する。

(成膜条件の紹介)

\*成膜条件A

塗布方法：スピンコート

乾燥：180°C×10min

焼成：550°C×1hr (Air → N<sub>2</sub> 雰囲気)

\*成膜条件B

塗布方法：バーコート

乾燥：180°C×10min

焼成：550°C×1hr (Air 雰囲気)

\*成膜条件Aの特性

表面抵抗値：120Ω/□

透過率：98.2%

膜厚：約150nm

\*成膜条件Bの特性

表面抵抗値：700Ω/□

透過率：97.6%

膜厚：約200nm

●封止部のITO膜を塩酸で除去し、塩酸で洗浄する。

■管内壁の蛍光体膜の成膜

●管内壁に蛍光体ペーストを回転式流し込み法で塗布する。

●乾燥後、蛍光膜が指定の透過率の範囲内にあるかを確認する。

●空気中で500~600°Cで60分焼成する。

#### ②ステム部材の加工

■陰極用ステムの作製 (図A-22、A-23参照)

●ステムの取り出し線にカーボンエミッタを管径の中心に配置できるように溶接する。

■陽極用ステムの作製 (図A-22参照)

●ステム先端にサポート管を溶着する。

- ステムの取り出し線の方にゲッターを、もう一方に陽極端子を溶接する。
- 陽極端子を管内壁のITO膜に銀ペーストで接着する。



図 A-22. FEL 用部材の外観写真

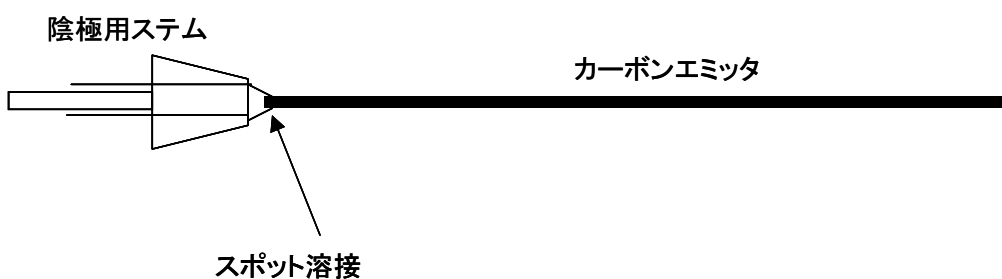
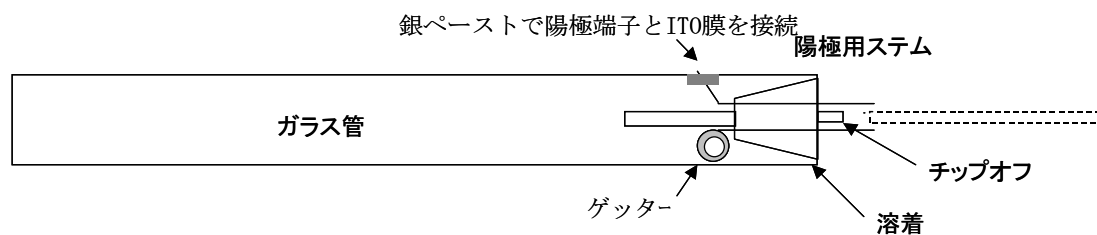


図 A-23. ステム端子にカーボンエミッタを溶接した状態のイメージ図

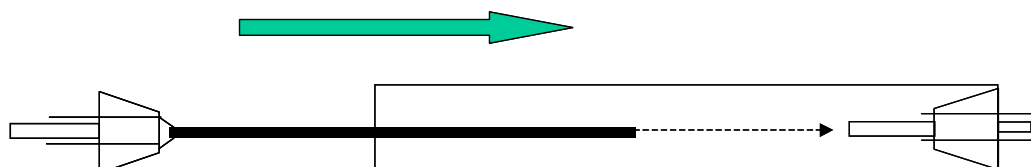
③組立、④排気

■図 A-24 の手順にしたがって準備した部材を組み立てる。

- 組立 1 : ガラス管の片端に陽極用ステムを溶着する。

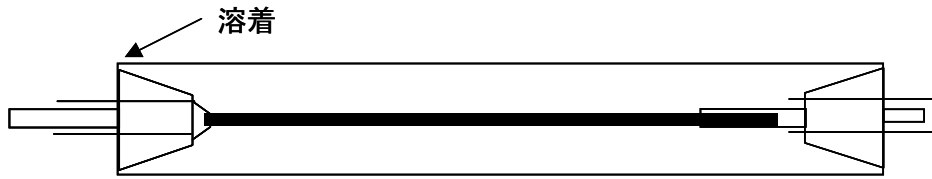


- 組立 2 : カーボンエミッタをガラス管内に挿入し、サポート管で支持する。

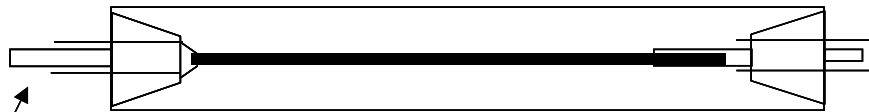


- 組立  
陰極用ステムをガラス管に溶着する。

3 :



●排気ベーキング ( $10^{-6}$ torr 以下・ $450^{\circ}\text{C}$ )、チップオフ



真空用ポンプに接続し、排気後にチップオフする。

図 A-24. FEL の組立手順

上記で説明した FEL の製造プロセスを図 A-25 にまとめる。

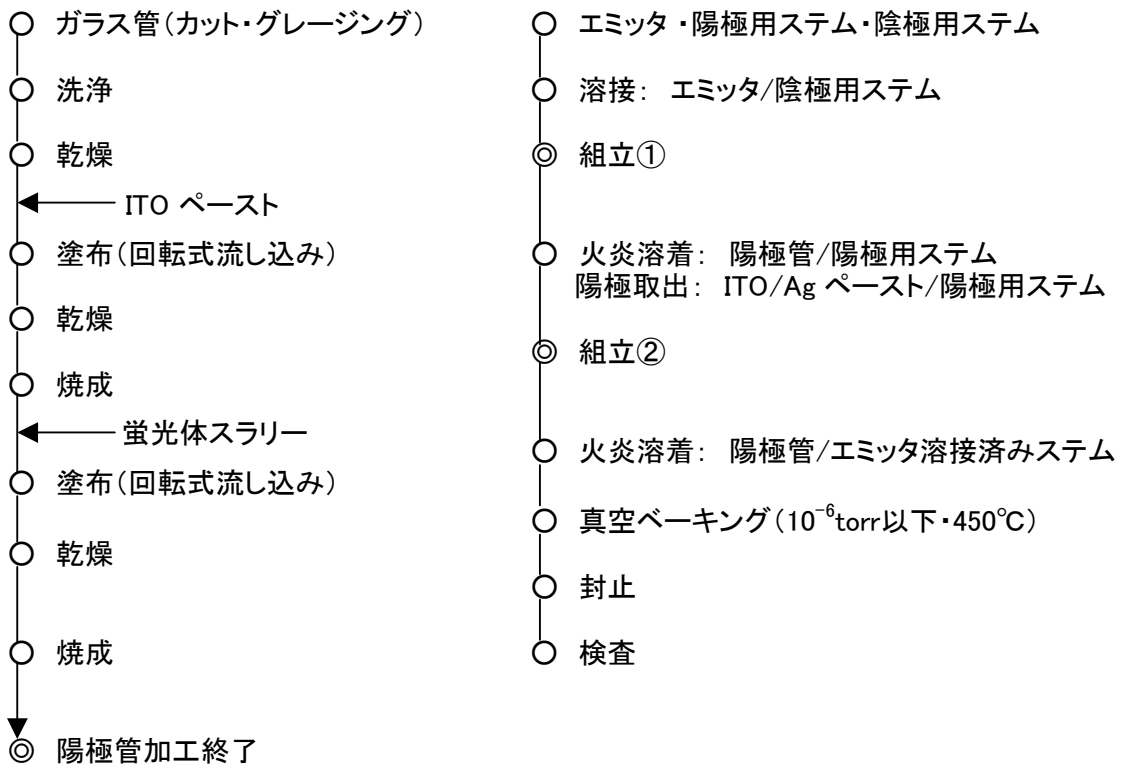


図 A-25. FEL の製造プロセス

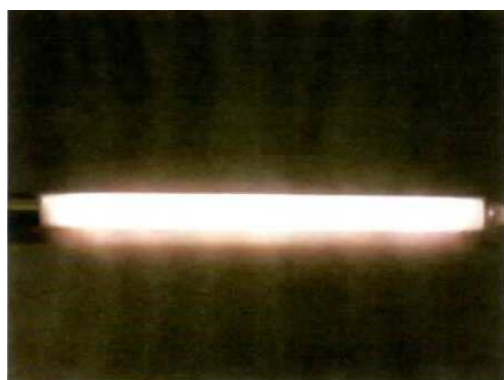
## A-4-2. FEL の現状

### A-4-2-1. FEL の現状性能

FEL の現時点での性能を以下に述べる。

#### ■ FEL の現状特性

- 発光効率：42 lm/W ⇒ 白熱電球の約 3 倍
- 推定寿命：1 万時間以上 ⇒ 白熱電球の約 10 倍以上  
(最適駆動方式・条件以外では寿命は低下する。)
- 演色性指数(Ra)：>85 ⇒ 高演色蛍光灯と同等 (白熱電球 Ra=100)
- 発光色：蛍光体配合比の調整で昼光色・昼白色・電球色などが可能。(図 A-26)



色温度:3600K (暖白色)



色温度:6500K (昼光色)

図 A-26. 各種発光色を示す FEL

### A-4-2-2. トンネル内警告機能 FEL 照明の導入

本研究で筆者らが開発してきた FEL の唯一の商品化実績がトンネル内警告機能 FEL 照明システムである。平成 17 年に高知工科大学総合研究所熊谷靖彦教授を委員長とした高知県にて国土交通省のプロジェクト「井の岬・伊田トンネル内における歩行者の安全対策に関する検討委員会」が発足した。その一環として井の岬トンネル内にトンネル内警告機能 FEL 照明システムが試験的に採用された。井の岬トンネルは高知県の西部に位置し、国道 56 号線のトンネルである。国道 56 号線は高知県西部で収穫される農産物や海産物などを運ぶ大型トラックなどの交通量が多く、しかもトンネル内は歩行者が行き来するため、歩行者の安全対策が以前より望まれていた。本警告機能 FEL 照明システムは、歩行者がトンネル内に入ると、トンネルの出入り口に設置されている歩行者センサーが感知し、それに連動しトンネル内に配置されている 30 台の FEL 照明が点滅点灯を始める。FEL 照明の点滅はド

ドライバーに歩行者がトンネル内にいることを知らせる注意喚起を目的としている。FEL が本警告機能照明システムに採用されたのは FEL の特長である瞬時点灯性と高輝度発光が本警告機能照明システムにマッチしたからである。試験採用期間中に住民やドライバーらへのアンケート調査でも好評を得え、約 2 年のフィールド試験を経て本警告機能 FEL 照明システムは国土交通省から商品化の認定を得た。本警告機能 FEL 照明システムの点灯時の様子を図 A-27、図 A-28 に示す。

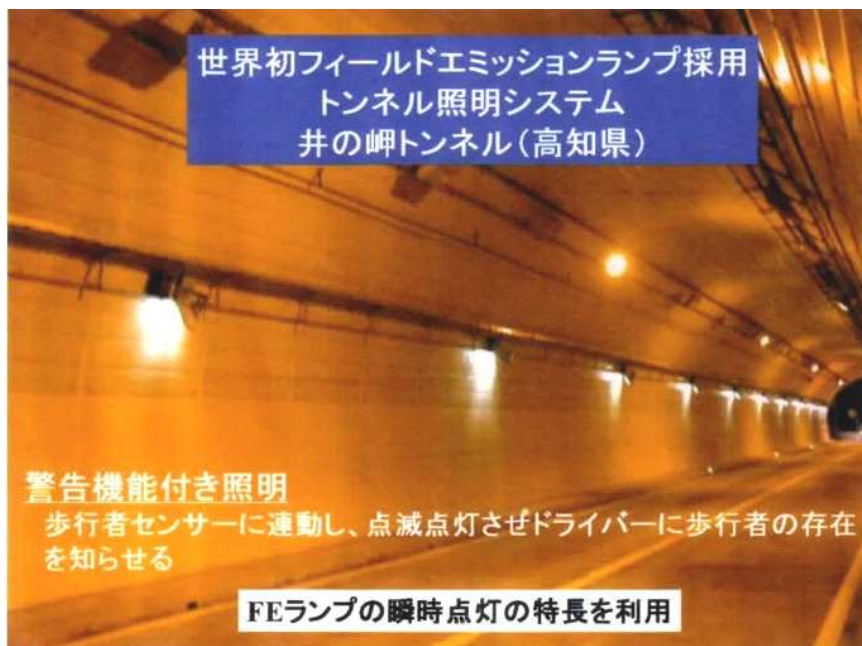


図 A-27. 井の岬トンネル内警告機能 FEL 照明システムの動作風景

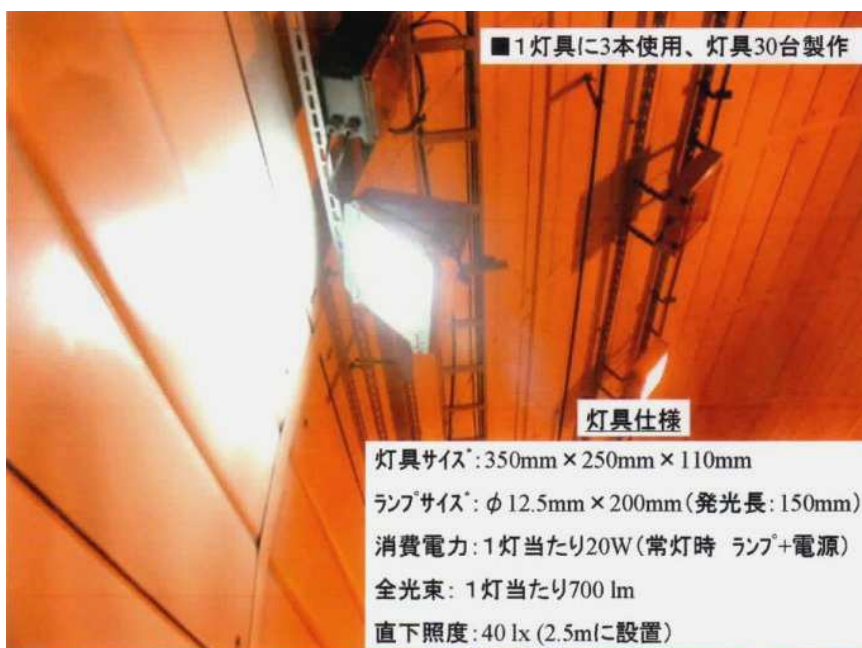


図 A-28. 警告機能 FEL 照明システムに使用する FEL 灯具の仕様

### A-4-2-3. FEL の商品化における課題

4-5-2-1 で述べた FEL の現状性能の中で発光効率は白熱電球の約 3 倍高いがそのほかの光源と比べるとやや見劣りする。省エネルギーが求められる現在では、発光効率の向上は必須である。FEL の発光効率は現在でこそ 40lm/W を超えるようになったが、本研究開始時には約半分の 20lm/W 前後であった。次に、いかにして発光効率を約 2 倍に向上させたかについて述べる。

FEL の発光効率は蛍光体の特性に大きく依存する。仮に同じワット数で電子を蛍光体に照射したときに現行蛍光体の 2 倍の輝度が得られる蛍光体が存在するとし、その蛍光体を FEL に使用すると発光効率は現行のおよそ 2 倍になると推察できる。高効率の蛍光体を開発することは FEL の発光効率の向上への非常に有効な手段であり今後も継続して行なう必要がある。しかし、現行の P22 蛍光体の特性を最大限に引き出すことにより FEL の発行効率を向上させることが可能である。そのことに関しこれまで 2 つのアプローチを行い、開発初期に比べて 2 倍以上の発光効率を示すことに成功した。

#### アプローチ(1)：蛍光膜の R, G, B 配合比率・膜厚の最適化の検討

FEL は各種発光色を出すことが可能であるが、照明用途としては白色発光を用いる場合が多い。白色発光を得るには赤色(R)、緑色(G)、青色(B)の 3 原色蛍光体を適当な配合比率で混ぜ合わせる必要がある。R, G, B 蛍光体は各々発光効率が違うため、配合比率によって白色

発光の発光効率は違ってくる。(P22 蛍光体では、 $G > R > B$  の順で発光効率が高い。)

また、同じ配合比率でも蛍光膜の膜厚により得られる発光効率は違ってくる。そこで、蛍光膜の R, G, B 配合比率・膜厚の最適化の検討を行なった。蛍光膜の R, GB 配合比率の最適化は光の 3 原色の加法混色の原理に基づき検討した。

はじめに光源の放射ペクトラムと光の 3 原色の加法混色の原理について説明する。

#### (a) 光源の放射ペクトラム

測色する際の基本的なパラメーターは光量、放射束分光密度 (スペクトル)  $s(\lambda)$  である。XYZ 表色系 (CIE1931 表色系) において色の 3 刺激値 XYZ は以下の式で求められる。

$$X = 683 \times \int s(\lambda) \times \underline{x}(\lambda) \times d\lambda$$

$$Y = 683 \times \int s(\lambda) \times \underline{y}(\lambda) \times d\lambda$$

$$Z = 683 \times \int s(\lambda) \times \underline{z}(\lambda) \times d\lambda$$

$\underline{x}(\lambda), \underline{y}(\lambda), \underline{z}(\lambda)$  : XYZ 表色系における等色関数



トプコン社製分光放射計 (SR-3A) で測色したスペクトルおよび XYZ 表色系における等色関数を図 A-29、A-30 に示す。

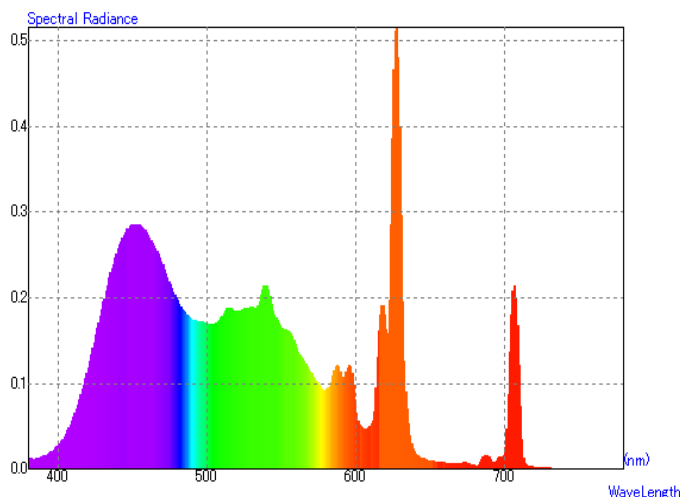


図 A-29. 測色した分光スペクトルの一例

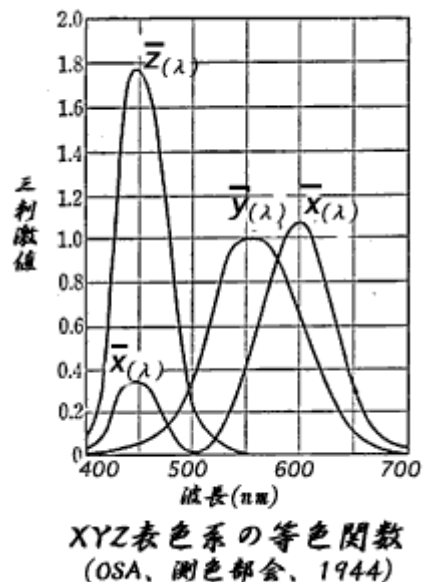


図 A-30. XYZ 表色系における等色関数

(b) 光の 3 原色の加法混色

以下の手順で光の 3 原色の加法混色を行なう。

- (1) R, G, B 各色の色度とその輝度を測定する。

$$(x_r, y_r, Y_r) \quad (x_g, y_g, Y_g) \quad (x_b, y_b, Y_b)$$

- (2) 各色の 3 刺激値を求める。

$$X = Y \times x/y \quad Y = Y \quad Z = Y \times (1-x-y)/y$$

- (3) 3 つの 3 刺激値を足し算する。

$$X_{sum} = X_r + X_g + X_b$$

$$Y_{sum} = Y_r + Y_g + Y_b$$

$$Z_{sum} = Z_r + Z_g + Z_b$$

- (4) 最後に色度を計算する

$$x(\text{sum}) = X_{sum} / (X_{sum} + Y_{sum} + Z_{sum})$$

$$y(\text{sum}) = Y_{sum} / (X_{sum} + Y_{sum} + Z_{sum})$$

現状使用している R, G, B 蛍光体は P22 用蛍光体で以下の組成である。

■赤色蛍光体  $Y_2O_3:Eu$  ■緑色蛍光体  $ZnS:Cu, Au, Al$  ■青色蛍光体  $ZnS:Ag, Al$

現状使用している R, G, B 蛍光体の色範囲 (NTSC 比 : 約 74%) を図 4-41、R, G, B 蛍光体の各分光スペクトルを図 A-31~図 A-34 に示す。

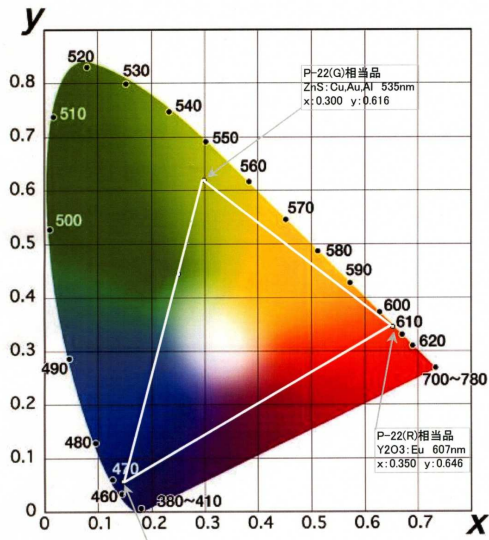


図 A-31. 現状使用している R, G, B 蛍光体の色範囲

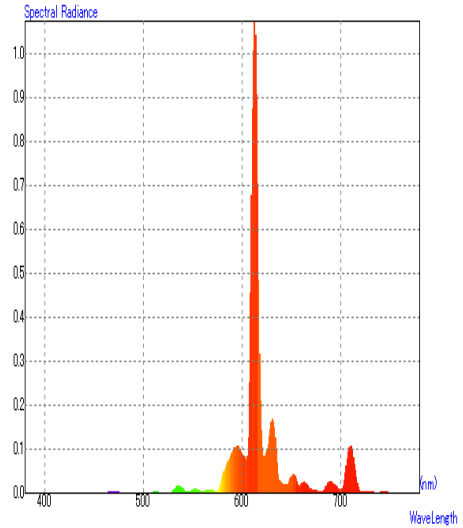


図 A-32. 赤色蛍光体の分光スペクトル

x:0.6423 y:0.3497  
 X=8255 Y=4494 Z=102  
 (測定条件 : 3.4kV 1.5mA)

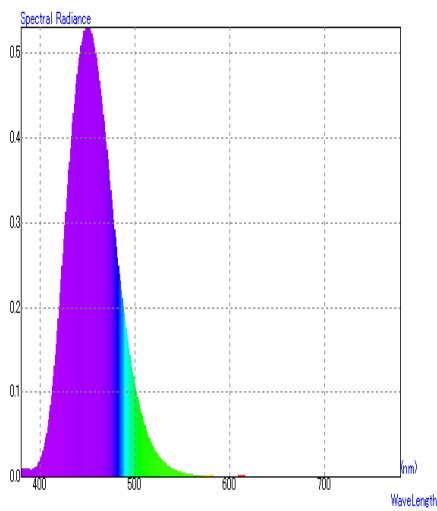


図 A-34. 青色蛍光体の分光スペクトル

x:0.1459 y:0.0586  
 X=5115 Y=2054 Z=27884  
 (測定条件 : 3.1kV 1.5mA)

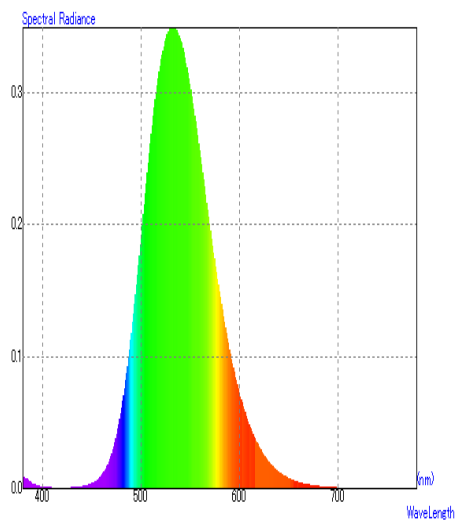


図 A-33. 緑色蛍光体の分光スペクトル

x:0.2986 y:0.6103  
 X=7054 Y=14419 Z=2153  
 (測定条件 : 3.4kV 1.4mA)

(c) 蛍光膜の R, G, B 配合比率・膜厚の最適化の検討

図 A-31 に示されているように、白色領域の色度はおよそ  $x:0.25\sim0.4$ ,  $y:0.25\sim0.4$  の範囲である。今回は白色領域内で発光効率が向上する最適 R, G, B 配合比率を検討した。発光効率を向上させるには、(b)の光の3原色の加法混色に従うと、刺激値 Y を大きくすれば、発光効率は向上するが刺激値 Y のみを大きくすると白色領域から外れるので、刺激値 X, Z を調整してできるだけ刺激値 Y を大きくしつつ白色領域内になるように R, G, B の配合比率を変えていく必要がある。従来の FEL 用蛍光膜の R, G, B 配合比率は重量比で 41:33:26 である。分光スペクトルと色度・3刺激値 XYZ を図 A-35 に示す。

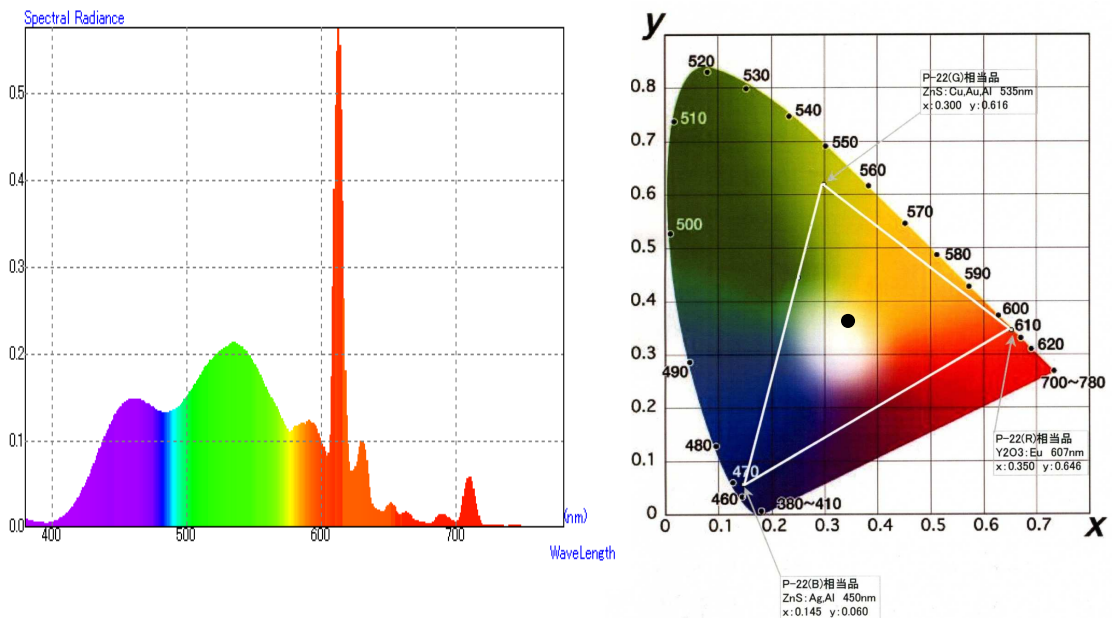


図 A-35. 現状 FEL 用蛍光膜の分光スペクトルおよび色度

$x:0.3307$   $y:0.3856$

$X=10020$   $Y=11685$   $Z=8595$

(測定条件: 6kV 1.14mA)

色度図からわかるように、現状の蛍光膜の  $y$  値 (0.3856) は白色領域内のかなり上方に位置している。従って、G の比率だけを大きくして発光効率を向上させるのには限度がある。実際に、G の比率を大きくして蛍光膜を作製したが R,G,B 配合比率が 33:43:24 で図 A-36 に示すように、 $y$  値が白色領域内の上限である 0.4 を越えた。発光効率は現状に対して 22% の向上が見られた。

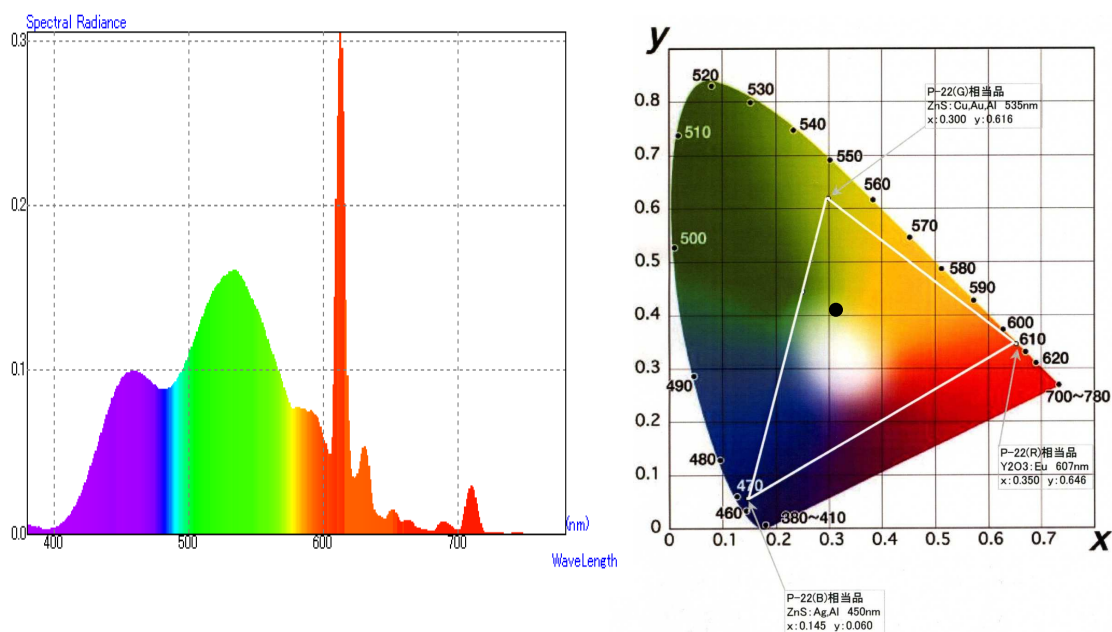


図 A-36. R, G, B 配合比率 (33:43:24) 蛍光膜の分光スペクトルおよび色度

x:0.3139 y:0.4072

X=9684 Y=12564 Z=8606

(測定条件 : 5.9kV 1.02mA)

さらなる発光効率の向上を目指すため以下の方向で配合比率を検討した。  
 上記のように発光効率を高めるには、刺激値Yを大きくする必要があるが、一方、白色領域の上限である色度y値：0.4を越えないようにする必要がある。  
 刺激値Yと色度y値は以下の関係がある。

$$y(\text{sum}) = Y_{\text{sum}} / (X_{\text{sum}} + Y_{\text{sum}} + Z_{\text{sum}}) \quad (\text{sum は RGB 混合蛍光膜を指す})$$

したがって、分子の刺激値Yが大きくなっても、分母の (X + Y + Z) が大きくなれば、y値は大きくなりにくい。すなわち、刺激値Yを大きくすると同時に刺激値X, Zを多くすることによってy値：0.4を越えないで発光効率を大きくできる可能性があると考えた。

R, G, B 蛍光体の同一励起条件下でのそれぞれの刺激値 XYZ は以下である。

■RED (X=8255 Y=4494 Z=102)

■GREEN (X=7054 Y=14419 Z=2153)

■BLUE (X=5115 Y=2054 Z=27884)

発光効率を高める刺激値Yを大きくするには、GREENの配合比率を大きくすることが有効であることがわかる。また (X + Y + Z) が大きくするにはGREEN, BLUEの配合比率を大きくすることが有効であることがわかる。

現状の蛍光膜のR, G, B配合比率(41:33:26)からGREEN, BLUEの配合比率を大きくした蛍光膜の検討結果を表A-3に示す。

表 A-3. 蛍光膜の R, G, B 配合比率検討結果

RGB 配合比	励起条件	輝度	輝度効率	色度 x 値	色度 y 値
41:33:26 (30%)	6kV 1.14mA 6.84W	11685	1708.33333	0.3307	0.3856
35:35:30 (30%)	6kV 1.09mA 6.54W	12228	1869.72477	0.3049	0.363
35:40:25 (30%)	6kV 1.09mA 6.54W	13120	2006.11621	0.3182	0.3946
35:40:25 (34%)	5.9kV 1.14mA 6.726W	13357	1985.87571	0.3063	0.3826
30:37:33 (28%)	6kV 1.09mA 6.54W	12167	1860.39755	0.2945	0.373
33:43:24 (30%)	5.9kV 1.02mA 6.018W	12564	2087.73679	0.3139	0.4072
33:43:24 (40%)	5.9kV 1.06mA 6.254W	12350	1974.73617	0.3078	0.3865
25:43:32 (30%)	6kV 1.07mA 6.42W	13784	2147.0405	0.289	0.3896
25:43:32 (39%)	6kV 1.22mA 7.32W	14360	1961.74863	0.2816	0.3667

表 4-5 からわかるように今回の検討結果の中では、R, G, B 配合比率(25:43:32)の蛍光膜が最も輝度効率が高く、現状の蛍光膜に対し、26%、図 A-36 に示した R, G, B 配合比率(33:43:24)蛍光膜に対し、3%の輝度効率の向上があった。膜厚に関しては透過率 30%で輝度効率が大きくなる傾向があった。分光スペクトルと色度・3刺激値 XYZ を図 A-37 に示す。

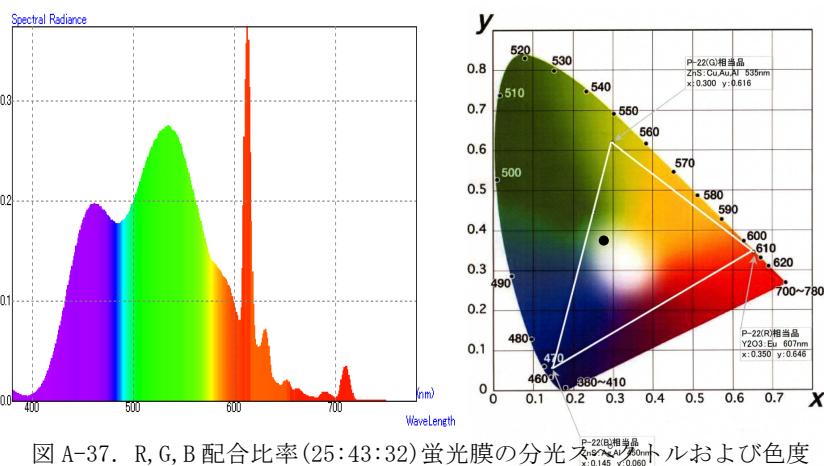


図 A-37. R, G, B 配合比率(25:43:32)蛍光膜の分光スペクトルおよび色度

x:0.2890 y:0.3896

X=10226 Y=13784 Z=11372

(測定条件 : 6kV 1.07mA)

現状の蛍光膜を用いて作製した FEL の発光効率を積分球で測定した結果、32 lm/W が得られていることから R, G, B 配合比率(25:43:32)の蛍光膜の輝度効率から判断すると、発光効率は現状より 26%向上し 40 lm/W 強になると考えられる。

## アプローチ(2)：2極型FELに適したmodified CNX エミッタの開発

A-2-2 で述べたように FEL を照明用ランプとして使用する場合、選択すべき構造として3極と2極の2つがある。前者はエミッタ自身である陰極と蛍光体・透明電極からなる陽極の間にゲート電極を配置する構造である。ゲート電圧でカソードからの放出電流をコントロールするので、電流制御が重要なディスプレイ(FED)では3極は必須な構造である。しかし、プロセスが複雑でコストは高くなる。これに対し、2極タイプは簡単で低コスト化が可能となる。筆者らは照明市場での商品化をターゲットにしており低コスト化が大きな目標であることから、2極タイプのFELの開発に注力している。ここで注目すべきは、P22 蛍光体のような高速電子線励起型蛍光体を用いる場合、2極タイプと3極タイプでは求められるエミッタの特性は異なることがわかってきた。3極の場合は、CNX エミッタのように電子放出特性が良好なエミッタを用いるが、2極の場合は、CNX のような高性能エミッタは適当ではない。このことは P22 蛍光体の発光特性に起因している。P22 蛍光体の発光効率と電流密度の関係を図 A-38 に示す。<sup>A-10)</sup>

図A-38からP22 蛍光体は、高電圧・低電流密度の条件下で高発光効率になることがわかる。

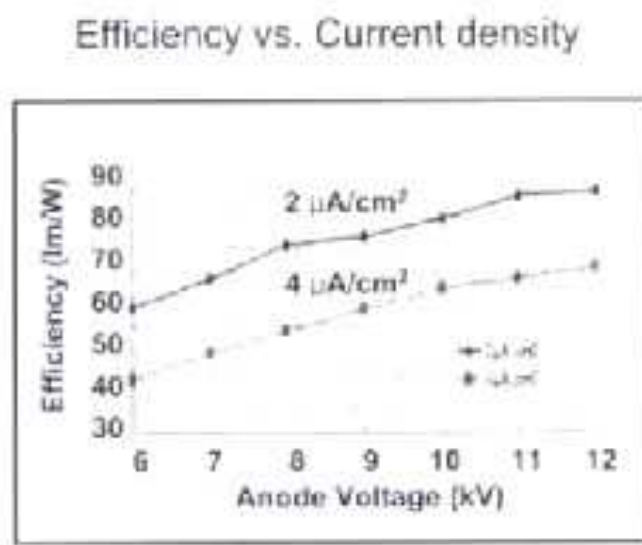


図 A-38. P22 蛍光体の発光効率と電流密度の関係

P22 蛍光体が高電圧・低電流密度の条件下で高発光効率になる理由を以下のように考える。

FEL の蛍光膜は平均粒径が  $5\mu\text{m}$  程度の P22 蛍光体の粒塊を ITO 膜上に堆積させた多結晶層である。蛍光体の表面は内部に比べて欠陥が多く結晶性が悪い。そのため電子線励起による電子-正孔対(electron-hole pair)の再結合が表面で起ると光を発しない、非発光再結合として熱を発生するため、発光効率は低下する。ゆえに、電子線励起を表面を通過して、結晶粒の内部で起こし、発光効率を上昇させるには加速電圧を高める(高速電子線)必要

がある。これに加え、蛍光体層の表面は、一般にチャージアップや汚染が起るため、電子線が表面を通過するに十分な高電圧(2kV以上)加速が望まれる<sup>A-11)</sup>。

次に低電流励起がなぜ必要かを説明する。加速電子による電子-正孔対の励起数は高電流ほど高い。しかし、発光に寄与する再結合センターの数には限度がある。そのため、高電流励起では発光に失敗する電子-正孔対が増え(非発光)、効率を低下させる。つまり、蛍光体からの発光を高効率にするには、ある程度の低電流励起が求められる。もちろん、極端な低電流では輝度は得られない。したがって、エミッタからの電子放出箇所、すなわち、emission-site(s)の密度を上げ、発光膜を構成する蛍光結晶粒に均一に(つまり局所的高電流密度化を避けて)電子を侵入させ、各結晶粒内の発光センターを有効利用し全体としての輝度を高めることが必要である。

このような発光特性を持つP22 蛍光体の性能を最大限に発揮させるには、既述の CNX エミッタは低い印加電圧(2極の場合、加速電圧になる)でも高電流を放出するため、発光に必要な高電圧では電流密度が高くなりすぎ発光効率を悪くするため好ましくない。そこで筆者らは CNX の作製条件を少し変更して2極用に適したエミッタ(modified CNX<sup>A-12)</sup>と呼ぶ)を製作した。これと CNX の電子放出特性の比較を図 A-39 に示す。

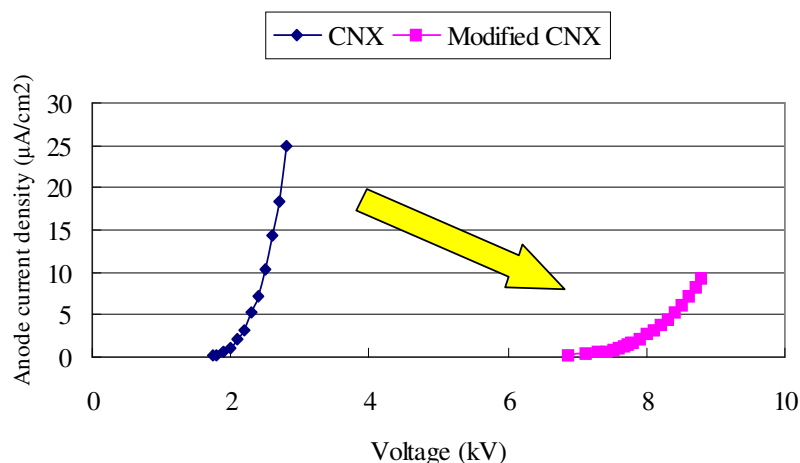


図 A-39. 2 極型 FEL に適した modified CNX と CNX の特性比較

ここでは、emission-site(s)密度を上げるため、A-3-1-2 に述べた“スクリーニング効果”を考慮して、低い突起(rod)を導入して rod (これが emission-site になる)密度を上げる処理を施した。modified CNX を用いた FEL はこれまでの CNX を用いた FEL の発光効率より 60%高い発光効率を得ることができ、その後の改良により 42lm/W の発行効率を得ることが可能となった。

今後は新規蛍光体の開発・ランプ構造の改良や最適駆動条件の確立などいくつかのブレークスルーを通じて他光源より省エネランプとしての地位を築く必要がある。

## A-5. まとめ

本章では FEL の基礎研究と応用研究について詳細に述べた。基礎研究においては独自のプラズマ CVD 技術を用いて世界最高レベルの電子放出特性を示す CNX エミッタの開発の成功した。また全方位に電子を放出する線状エミッタを開発したことで、蛍光灯のような管型形状の FEL を作製することが可能となった。この成果は照明産業における事業展開に大いにプラスになると考える。さらに静岡大学との共同研究により高効率の SrGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 系蛍光体を開発したことにより FEL の発光効率の向上が望める。応用研究では FEL の製造プロセスなどについて述べてきたが、その最大の成果は、FEL の製造プロセスにおいて、既存の蛍光灯に用いる生産技術のほとんどが流用可能であることを実証したことであった。特に FEL の性能に大きな影響を及ぼす真空度はこれまで  $10^{-5}$  Pa 以下の超高真空度が必要と言われていた。しかし、著者らのグループで作製する FEL は  $10^{-2}$  Pa のオーダーの真空度でも十分動作することが確認できた。図 A-40 に示すように真空度が  $10^{-2}$  Pa オーダーのときの電子放出特性は真空度が  $10^{-5}$  Pa 以下のときとほとんど変わらない。このことは、量産設備に莫大な費用を要する超高真空設備を用いず、既存の生産設備の改造のみで量産体制が整うことを意味し、設備投資額の面、量産を担ってくれるパートナーの獲得のしやすさの面で大いに有利に働くものと考えられる。

これらの研究成果は、いくつかの国内学会や国際学会などで発表した。世界的に知られる IDW2007 (International Display Workshops) や SID2008 (Society for Information Display) において最優秀論文賞を受賞した。また、筆者は IMID2008 (International Meeting on Information Display) において招待講演を行なった。

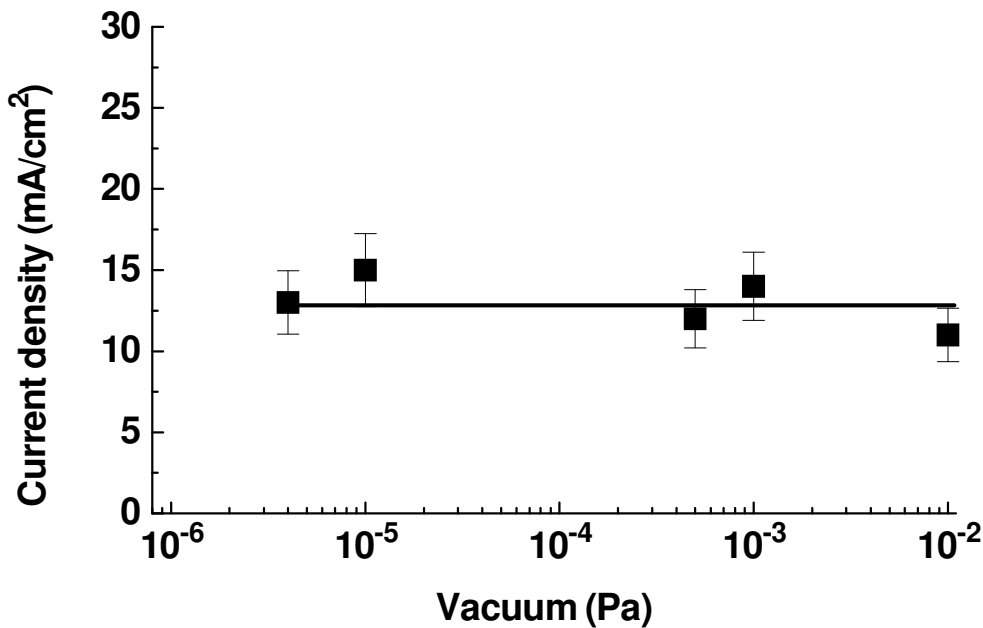


図 A-40. 電子放出特性の真空度依存性



## 謝辞

著者が高知工科大学の起業家コース博士後期課程に入学したのは、2000年4月であり、休学を繰り返した後、2007年に単位取得退学をし、今回ようやく論文をまとめることができました。起業家コースの先生方をはじめ、秘書室の皆様、教務部の皆様に長期にわたり多大な迷惑をお掛けしたことをこの場を借りてお詫び申し上げます。

本論文は、2003年4月よりスタートした国家プロジェクト高知県地域結集型共同研究事業「次世代情報デバイス用薄膜ナノ技術の開発」で著者らが行なったFELの基礎研究、2004年5月から2009年3月まで技術ベンチャー企業ダイヤライトジャパン株式会社での起業実践を技術経営に視点から分析・考察することで得られた問題点などを整理し、著者の2度目の挑戦となる新会社での起業実践を成功に導く技術経営戦略を策定したものです。本論文をまとめるにあたり、実社会での起業実践について客観的に見直し、起業家コースや書籍で学んだ理論などと比較し考察をしてきましたが、学んだ知識と実社会で起こる事例は一致する部分が多くあることを知りました。起業家コースで教えていただいたことをまだ自分自身のものにはできていませんが、今後、実践を通じてこれまで学んだ知識を身につけていきたいと思えます。

平野真コース長には論文の締め切り直前になって主担当になっていただき心より感謝しております。また、的確なアドバイスをしていただいたことで本論文が見違えり、ようやく提出できるところまでなりました。本当にありがとうございました。

松本平八先生にも貴重なご助言をたくさん頂きました。今は非常勤教授の立場で私の主担当ではないにもかかわらず、わざわざ大阪教室でどのように論文を仕上げていくかをご指導いただき、またEメールで励ましのお言葉を何度も頂きました。心より感謝しております。また、松本平八先生の三菱電機時代の台湾企業との交渉の苦労話は、今後の私の仕事に大いに役立つお話でした。ありがとうございました。

加納剛太元コース長には入学以前からお世話におり、また入学後は迷惑のかけどおしでした。本論文の最後に書かせていただいたように、加納剛太先生が常々伝えてこられたアントレプレナーシップの重要性の真の意味を起業実践したことではじめて理解することができました。本当に感謝しております。また、加納剛太先生がお書きになった『衝撃！プラズマテレビは社会を変える』は加納剛太先生がご経験なされたご苦労と達成感がよくわかる私が大好きな本で、今後、新会社で苦労したときにはこの本を読み返し加納剛太先生の勇気を頂こうと思っています。これまで本当にお世話になりました。また今後ともよろしくお願い致します。

また、本研究のもととなった筆者自身の2回にわたる起業活動において、いうまでもなく、多くの方々のお世話になった。特に、筆者らの失敗にも懲りず、2回目の起業において、以前に協力していただいていた協力先のほとんどから継続の意志をいただいたことには、大きな感謝を感じています。献身的な応援をしていただいた知人、大きな決断をしていただいた新会社のオーナーには感謝しても仕切れない思いです。またその他の協力先から協力継続の意志を頂き、会社対会社だけでは味わえない人間の暖かさを感じずにいられませんでした。記して、これら多くの方々のご厚情に深謝します。

最後になりましたが、本論文の執筆に当たり、いつも応援・協力してくれた両親と私の妻、娘には本当に感謝しております。ありがとうございました。

## 引用文献

### 第1章

- 1-1) 中村明 『ベンチャーの創造なくして日本の再生はない』(SS コミュニケーションズ、2003年)

### 第2章

- 2-1) 平野真 『技術者のための起業マニュアル』(創風社、2005年)  
2-2) 柳在相 『ベンチャー企業の経営戦略』(中央経済社、2003年)  
2-3) 野村総合研究所、前掲報告書、1996年  
2-4) 忽那憲治他 『日本のベンチャー企業』(日本経済評論社、1999年)  
2-5) ジェフリー・ムーア 『キャズム』(翔泳社、2002年)

### 第4章

- 4-1) 中島龍興 あかりの歴史と現在の技術 Civil Engineering Consultant Vol.243  
April 2009  
4-2) 光源/照明市場 実態・技術・予測 2007年度版(富士経済、2007年)  
4-3) 新・照明教室 オフィス照明と省エネルギー(社団法人 照明学会)  
4-4) 光と光の記録 -光編- (産業開発機構(株)、2003年)  
4-5) クレイトン・クリステンセン 『イノベーションへの解』(翔泳社、2003年)

### 第7章

- 7-1) 百瀬恵夫他 『ベンチャー型企業の経営者像』(中央経済社、1997年)  
7-2) 百瀬恵夫他 『地域産業とコミュニティ』(白桃書房、1986年)  
7-3) 木嶋豊 『カーブアウト経営革命』(東洋経済新報社、2007年)  
7-4) 長谷川博和 『ベンチャーキャピタリストの実務』(東洋経済新報社、2007年)  
7-5) 高知工科大学起業家コース 『木の葉、売ります。』(ケー・ユー・ティー、2006年)  
7-6) 高知工科大学起業家コース 『我らダイヤモンド企業』(NEW YORK ART、2008年)

### 附録

- A-1) フィールドエミッションディスプレイ技術 -次世代平面ディスプレイ FEDの現状と展望- (シーエムシー出版 2004年)  
A-2) 平木昭夫、平木博久、ワイドギャップ半導体 光・電子デバイス、.282

(森北出版 2006 年)

- A-3) J. Robertson: IEICE Trans. Electron. E86-C, 787 (2003)
- A-4) For example : W. A. Anderson, J. Vac. Sci. Technol. B11, 383(1993), and Y. Y. Lau, Youfan Liu and R. K. Parker, Phys. Plasmas $\mathbf{1}$ , 2082(1994)
- A-5) L. Nilsson, O. Groening, C. Emmenegger, O. Kuettel, E. Schallaer and L. Schlapback, Appl. Phys. Lett. 76, 2071 (2000)
- A-6) H. Makita et al., Thin Solid Films 281-282, 279 (1996)
- A-7) N. Jiang et al., Appl. Phys. Lett. 81, 256 (2002)
- A-8) ] H. X. Wang, N. Jiang, H. Hiraki, M. Haba and A. Hiraki, ICIS' 06 International Congress of Imaging Science, (ISBN0-89208-260-7), 689 (2006)
- A-9) For example: Y. Xia et al Adv. Mater, 15, 353 (2003)
- A-10) Lee Sun Hee, Kim Kwang Bok, Yong Won and et al (Kumho Electric, Samsung SDI), High efficiency of anode structure for field emission device, FEW' 07 Korea
- A-11) M. Itoh and L. Ozawa, Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C., 102, 12 (2006)
- A-12) H. Hiraki, H. Harazono, T. Onozawa, M. Nakamoto and A. Hiraki, IMID/ASIA DISPLAY' 08 DIGEST, 1951 (2008)

## 業績リスト

### 『論文』

1. H.Hiraki, N. Jiang, H. X. Wang and A. Hiraki: Electron emission from nano-structured carbon composite material - an important role of the interface for enhancing the emission. J. Phys. IV (France), 132, 111-115, (2006)
2. H.Hiraki, A. Hiraki, N. Jiang and H. X. Wang: Electron emission from nano-structured carbon composite materials and fabrication of high quality electron-emitter by plasma technology. J. Korean Physical Soc. 49, 1276 (2006)
3. A. Hiraki and H.Hiraki: Unique carbon-nano-structure for high quality electron emitter to be employed in a variety of applications. REVISTA MEXICANA DE FISICA S54(2), 44-50 (2008)

### 『学会発表』

1. H.Hiraki, H. Harazono, T. Onozawa, M. Nakamoto and A. Hiraki: High quality tubular filed emission lamp using a wire type carbon-nano-structure emitter (CNX). IMID2008 Soul (Kintex) Korea, Oct. 17, 2008, (Invited)
2. H. X. Wang, H. Harazono, N. Jiang, H.Hiraki, Y. Harada and M. Haba: Fabrication of High Brightness Flat Field Emission Lamp with 6kV Anode Voltage for Local Dimming LCD BLU. SID2008, USA, 2008
3. A. Hiraki, H.Hiraki, M. Nakamoto and G. Sato: High Quality Field Emission Lamps from Electron-Emitting Carbon Films with Unique Carbon-Nano-Structure (CNX). IDW' 07 Sapporo, Japan, Dec. 5-7, 2007, (Invited)
4. H.Hiraki, N. Jiang, H. X. Wang, H. Zhang and A. Hiraki, N. Jiang and H. X. Wang: CNX an unique Carbon-Nano-Structure to be employed for excellent electron-emitter. HASSELT DIAMOND WORKSHOP-SBDDXII, HASSELT, BELGIUM, March, 1, 2007
5. 白鳥硬次, 中本正幸, 平木博久, 羽場方紀: 高加速電子線励起フィールドエミッションランプ用SrGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu蛍光体の高輝度化, 電気化学会第74回大会、2007.3.31
6. H. X. Wang, N. Jiang, H.Hiraki, M. Haba and A. Hiraki: Fabrication of Field Emission Display with a novel emitter of CNX. ICIS' 06 (International Congress of Imaging Science), USA, 2006
7. H.Hiraki, N. Jiang, H. X. Wang and A. Hiraki: Electron emission from nano-structured carbon composite materials and fabrication of high quality electron-emitter by

plasma technology. The 4th International conference on advanced materials and devices(ICAMD 2005) Jeju, Korea, Dec.5-7, 2005

8. H.Hiraki, N. Jiang, H. X. Wang and A.Hiraki; Electron emission from nano-structured carbon composite materials - an important role of the interface for enhancing the emission 10th International conference on the formation of semiconductor interfaces (ICFSI-10) Aix-en-Provence, France, July.3-8, 2005
9. N. Jiang, H. X. Wang, H.Hiraki, M. Ohara, M. Haba and A.Hiraki: Carbon nanowalls for field emission and light-source applications International Display Workshop (IDW' 04) Niigata, Japan Dec.8-10.2004.
10. 平木博久, 王宏興, 江南, 笹岡秀紀, 西村一仁: カーボンナノウォール及びその電子放出型光源への応用, ニューダイヤモンドフォーラム、青山学院大、11.27-28.2003.

『学会活動・研究会活動』

1. 照明学会・次世代高品位ディスプレイ研究調査委員会 (研究期間 H17.4~H20.3) 委員
2. 照明学会・超高精細・高臨場感ディスプレイ研究調査委員会 (研究期間 H21.4~) 委員
3. 最近の展望『蛍光灯に代わるフィールドエミッション式照明システム』  
(執筆: 平木博久・平木昭夫) 応用物理 第78巻 第4号 (2009年)

『著書』

1. 『ワイドギャップ半導体 光・電子デバイス』4章 電子デバイス 4.3 新機能デバイス 4.3.1 電子エミッタを執筆。