

# 戦後復興期電解コンデンサの イノベーション・システム

平 本 厚\*

## Abstract

This study analyzes the electrolytic condenser's innovation system in the postwar reconstruction period to reveal the source of Japanese electronic components' competitive advantage at present.

After surveying subjects of technological innovation, such as technical problems, actors, and relations among them, we revealed the following facts. First, the Japanese electrolytic condenser technology made rapid progress and reached advanced countries in this period. Second, this progress was led by small and medium enterprises. Third, the industrial growth rate was very high.

This study also elucidated the system of innovation in which the interaction among actors with different motives and characters, played a key role. Actors cooperated closely and competed actively with each other. The leading small and medium enterprises could obtain good returns from this innovation. Society enjoyed the fruits of innovation, namely the manufacture of assembled products.

These results highlight historical research on Japanese electronics. This study suggests the importance of mutual development between assembled products and electronic components in the historical development of postwar Japanese electronics.

## はじめに

2000年代以降の日本経済の行き詰まりの要因の一つとして以前は強い国際競争力を誇っていたエレクトロニクスが凋落があげられることが多い。一時は「電子立国日本」ともはやされたが、その姿は見る影もない。しかし、その後もまだ競争力を保っている分野もある。受動部品などの一般電子部品である。その理由は何か。本稿は、その課題に産業史的手法で接近しようとする作業の一環をなすものである。

一般電子部品の産業史研究は既にある。高橋(1994)、中島(2019)である。高橋は主に技術

面から電子部品工業史を跡づけ、とくにラジオの歴史的発展における大衆文化的側面を強調している。中島は、時代ごとの社会経済的特性との関連で電子部品が市販部品としての性格を維持し、部品企業が多様な顧客ニーズに対応して開発、生産能力を蓄積していったことに注目している。しかし、本研究は、それらの延長に分析を重ねようとするものではない。事実発見の点では先行研究を基盤としつつも、異なる視点から課題に接近することを目指す。それは、その過程をイノベーションの視点から分析することである。現代の産業では国際優位の主な源泉が優れた技術にあることはいままでもない。とくに激しい技術革新を産業特性の一つとするエレクトロニクスではその傾向が強い。本研究は、

\* 東北大学名誉教授

電子部品産業での国際競争力の中核的な要素は技術であろうとの見通しをたて、その革新の過程を問題にする点で先行研究にはない視点にたつ。

となると、アプローチの仕方も先行研究とは異なってくる。技術革新の過程を具体的に問題にするので、対象とする製品種類は限定されざるをえない。ところが、この産業の特徴の一つは製品種類が多様なことにある。一般電子部品のそもそもの定義が能動部品以外の電子部品ということで、「その他」的な性格が強い。業界団体である電子情報技術産業協会の分類では、コンデンサ、スイッチ、小型モータ、スピーカも同じ電子部品に含まれる。それらの技術特性や市場の様相に個性があることは容易に想像がつく。こうした多様な製品群に全体としてアプローチしようとする、技術面では分析の焦点は曖昧にならざるを得ない。ここでは、典型例あるいは代表例をとりあげて具体的に分析し、そこから全体の特性を推定するというアプローチをとりたい。

その事例としてアルミ電解コンデンサをとりあげる。生産額で見ると、一般電子部品でもっとも大きな製品種類はコンデンサ、抵抗器などの受動電子部品であり、その受動電子部品のなかでもっとも大きいのはコンデンサで、そのコンデンサのなかで、本研究が対象とする戦後から2010年代までのうちもっとも長い期間(1990年代後半まで)、一番大きかったのが電解コンデンサだったからである。そして、アルミ電解コンデンサでも2015年時点で日系メーカーが世界生産の54%を占めている(『電子部品年鑑』2018: 211)。生産規模と競争力の点で、この事例は戦後一般電子部品を代表する事例であるといえる。

また、技術革新の過程を具体的に追うとなると、分析の範囲も通常の産業史とは異なってくる。イノベーションはシステムで起きるとするのはイノベーション論でよく指摘されることで

あり(Edquist 1997, 2005)、ナショナルやセクタ、地域のシステムがこれまで注目されてきた(Freeman 1987, Lundvall 1992, Nelson 1993, Malerba 2004)。イノベーションの基盤には知識やモノの創造の過程がある以上、それが社会的な過程になるのは当然である。となると、主体としては企業や政府だけではなく、個人や大学、各種研究機関も重要になってくる。主体間の関係も市場経済的關係に限られるわけではない。しかも、知識創造が問題となると、分析範囲の外延をあらかじめ定めることも困難になる。ここでは、主体と関係のあり方に着目して、そのシステム的な性格を歴史的に問題にしたい。

本稿は、その作業のうち、終戦から高度成長が始まる1950年代半ばまでを対象とする。戦前の一般電子部品産業の形成については以前、明らかにした(平本2000)。戦争とその終了で産業と技術は大きく変化することになるからである。

以下、産業を概観したうえで、技術革新に関係した主体の状況、革新の起き方、革新を経済面からみたときの特質、その結果の意味などについて考察する。

## I 終戦後の電解コンデンサ産業

### 1.1 市場の動向

戦前、ラジオの登場が主要な契機の一つとなって形成された一般電子部品産業は、終戦で大きく構造を転換させた。

転換は需要、供給の両面でみられた。需要面では軍需が消滅し、代わってラジオの急速な復活にともない、ラジオ用需要が高まった。そもそも電解コンデンサの主な用途は、ラジオ、電話などであったが、この時期にはラジオ用が大半であったとみられる。

需要者は通常はセットメーカーであるが、この時期には特有の事情で個人の直接の需要もかな

りの規模に達した。セットメーカーの生産が伸び悩む一方、ラジオ・アマチュアによる自作が流行したからである。並4と呼ばれたように、日本のラジオは簡易でかつ事実上の標準化が進んでいたから（平本2010）、個人でも組立が容易だったし、受信機には30%の物品税がかかったから自作は有利でもあった。NHKのラジオ聴取の新規加入者の推移は、通産省や工業会の調査によるラジオ生産台数の推移とは大きく乖離しており、1948～1951年には放送新規加入者数は生産台数の2倍以上に達した（中島2019：28）。自作が多かったのである。また、ラジオの故障も頻繁だったから、補修用部品の個人需要もあった。

それは部品の流通構造にも影響した。流通では卸問屋が重要となった。戦前には、電子部品の需要先は、官軍需、ラジオセットメーカー、問屋・市販の3種類があり（平本2000）、1930年代前半まではおそらく問屋向けが主体で、その後、セットメーカー向けが多くなり、戦時中には軍需に傾斜した。戦後にはまた問屋向けが主流となり、1951年では、コンデンサの販売先は卸商・市販が45%、企業向けは42%であった（中島2019：71）。

ただ、物品税は1951年1月に10%となったし、ラジオ自体も1951年の民間放送の開始などで高級化（スーパーヘテロダイン化）して複雑となったから、1952年以降はラジオ自作は減少していった（中島2019：28）。それにつれて販売先もセットメーカーが多くなっていった。コンデンサでは1954年には企業向けが48%、問屋・市販向けが38%と、両者は逆転したが、なお問屋・市販向けは約4割を占めた。

需給は終戦後には逼迫した。資材や資金の調達が統制もあって容易ではなく、供給が追いつかなかったからである。それは取引にも影響した。例えば、松下電器産業（以下、松下と略称）では、1947年に入社した購買課員は、明後日のラジオの生産に間に合わせるために夜行で大

阪をたち、翌朝、東京の電解コンデンサメーカーで買って、荷物をもって夜行で大阪に帰り、そのままラジオ工場に持ち込んだという（石山1981：312-313）。松下は電解コンデンサを内製していたにもかかわらず、ラジオの生産ラインを維持するためには、外部から現物を調達して直接、持ち込む外なかったのである。問屋も同様で、大阪日本橋の岡本電機無線商会の岡本は、1947年春、「背中にリュックサック、両手にボストンバックといういでたちで、東京・品川の日本ケミコン本社を訪れた」（岡本無線電機1992：33）。東京と大阪をトンボ返し、決済はすべて現金払いであった。

生産高をみると、第1表のように、月平均生産個数で1947年から1948年にかけて倍増した。しかし、その後、不況もあって1949～1951年には生産は停滞し、1951年以降、再び増大した。期間を通してみると1947～55年で生産個数は約3倍になった。生産金額は1950年からしか判明しないが、急増しており、卸売物価指数で実質化すると1950～55年に約2倍になった。全体としては産業は急成長したことが分かる。

ただこれを、もっぱらラジオなどの機器側の成長に牽引された生産推移だと解釈するのは正しくない。実はこの成長は自らの革新の結果でもあったことは後にみる。

## 1.2 企業の動向

企業側の構造も大きく変化した。戦前から戦時中にかけて電解コンデンサメーカーとして有力だったのは東京電気（1939年7月に東京芝浦電気株式会社となる。以下、東芝と略称）であったが、それ以前からの中小企業も幾つかあり、やや遅れて松下無線も参入した（平本2000）。1941年の主要企業の生産高は第2表のようであった。これ以外にも企業があったことは明らかなので全体を網羅するとはいえないが、東芝とそれ以外との間に大きな格差があったことは

第1表 電解コンデンサ生産推移

	生産高種類	一ヶ月平均 生産個数 (千個)	一ヶ月平均 生産金額 (千円)	固定コンデンサ一ヶ月 平均生産金額 (千円)	固定コンデンサ中の 電解コンデンサシェア (%)	出典
1947年度 第2四半期	商工省生産計画	261				『電機通信』194709下:4
1947年度 第3四半期	商工省生産計画	304				『電機通信』194711下:2
1948年度 第3四半期	商工省生産割当	667				『旬刊 ラジオ電気』19481105:1
1948年度 第4四半期	商工省生産割当	563				『日本電気通信工業連合会報』 19490115:3
1949年度 第2四半期	通産省生産割当	584				『日本電気通信工業連合会報』 19490715:3
1949年度 第3四半期	通産省生産計画	595				『ラジオ電気新聞』19490928:1
1950年1-3月	通産省無線課調 「納入実績」	458	26,724	77,800	34.3	『日通連速報』第23号, 19500621:2
1950年11月	生産実績	559				『日本電気通信工業連合会報』 19510201:3
1951年4-12月	生産実績	467	36,122	92,551	39.0	『機械統計月報』
1952年	生産高	730	55,044	121,770	45.2	『機械統計年報』
1953年1-3月 <sup>1)</sup>	出荷高	700	93,360	175,643	53.2	『機械統計月報』
1955年	生産高	819	81,653	193,532	42.2	小川1960:51

注1) 1953年1-3月の生産金額は出荷高。

第2表 1941年の電解コンデンサメーカー

	生産個数	シェア (%)	従業員数 (人) <sup>1)</sup>	他の製品	戦後への継承
東京芝浦電気マツダ支社	62,000	30.2	200	総合電機	東芝→東京電器
狐崎無線電機	43,700	21.3	174	抵抗器	なし
三光社	30,000	14.6	78		三光社製作所→エルナー
佐藤電機工業所	25,000	12.2	65		日本ケミカルコンデンサ→日本ケミコン
目黒電気化学工業所	22,000	10.7	70		目黒電気化学工業所
日本無線電信電話	14,000	6.8	140	無線機器	日本無線
原崎無線工業	5,000	2.4	115	ラジオ	電解コンデンサ撤退か
高梨製作所	3,500	1.7	1,200	抵抗器	電解コンデンサ撤退か
上記計	205,200	100.0	2,042		

注1) 従業員数は企業全体ではなく、部品生産に従事するそれ。

資料: (日本放送協会) 普及部受信機課『ラジオ商工業の概要』昭和16年6月調。

確かだと思われる。

戦後には、東芝の地位が低下し、専門中小企業が成長した。1948年度第3四半期の商工省の電解コンデンサ生産割当は第3表のようで

あった。実際の生産額ではないが<sup>1)</sup>、おおよそ

- 1) 日本ケミコンの専務(1953~1964年)であった佐々木茂蔵によれば、「戦後は資材不足で、割当などでは、到底間に合わない時代で…グリ

の傾向は示していよう。各事業単位は、セットメーカーの内製と専門企業とに分かれ、後者が多い。割当のトップは東芝であるが、他企業との差は大きくない。1941年には東芝の半分以下だった三光社製作所（以下、三光社と略称）はほぼ匹敵する水準に達しているし、新たに参入した東研通信工業が第3位となっている。産業組織は中小企業中心へと大きく変化したのである。

その具体的事情を事例でみると、まず、トップの東芝は以下のものであった。

#### [東京芝浦電気長井工場]

同社の電解コンデンサ事業は、理化学研究所の宮田聡がアルマイト研究を応用して開発した積層型乾式電解コンデンサを企業化することで出発した（平本2000）。1930年代末には日本全体の過半数を占めるといわれた。戦時中には需要の大半は軍需で、ことに高圧用では国内唯一の生産拠点であったという（マルコン電子1972：30,5）。それだけに終戦の打撃は大きく、軍需の消滅で靴ずみなどを製作してしのぐ有様となった。しかも、1946年2月には労働組合が結成され、積極的な運動を展開した。1948年に同社は各工場の独立採算制を強行したが（東京芝浦電気1963：281）、その時点で長井工場は黒字ではなかったから、雇用整理や大量の帰休をめぐって紛争が激化した。さらに、1949年末には過度経済力集中排除法の指定で同工場は分離と決定され、大量の人員整理を行ったうえで1950年2月、第二会社の東京電器株式会社として発足した。この間、業績はおそらく赤字基調で推移し、1946年7月には約570名いた従業員数も1949年末には112名（東京芝浦電気1963：288）、1951年末には76名（マルコン電子1972：30）となった。従業員規模は

セリン（電解コンデンサの電解液の原料—引用者）が割当ならばトン二万、間で八万」であった（佐々木年不詳：7）。

一桁縮小し、1950年ころには他の専門有力企業とほぼ同じ規模となった。

軍需の消滅や労働運動の激化、企業分割など、この時期特有な事情が大企業の東芝には不利に働いたことが分かる。軍需の消滅は他でも同じだったが、東芝の場合は軍との結びつきが強かったので打撃が大きかったとみることができる。戦時中には、同社の製品は、電解コンデンサ生産で先行していた佐藤電機工業所（後の日本ケミコン）の同規格製品の2倍以上の価格で軍に納入されていたという（日本ケミコン1982：28）。軍需では高価でも通用したが、ラジオ用では、価格競争が厳しく苦戦を強いられたことは想像に難くない。

これにたいして、他のメーカーでは様相はかなり違っていた。1948年には第二位のシェアを獲得していた三光社では次のようであった。

#### [三光社製作所]

1929年に東京・品川で抵抗器生産を開始した本田製作所は、1933年に日本放送協会の協力を得て電解コンデンサの研究を始め、1934年11月に電解コンデンサ専業に転換した（以下、エルナー1998）。1939年には株式会社三光社製作所となった。販路は、通信省関連の通信機・電話機用、ラジオメーカーへのセット用、市中の間屋向けの3種があり、通信省関連は品質が悪かったことから少なく、ラジオメーカー向けがもっとも多かった。しかし、戦時中には軍需や通信省関連の生産がほとんどとなった（同：44）。

終戦で休業状態になったが、1946年上期から生産は回復していった。ラジオ用が大部分となり、1946年9月には商工省から重要工場に指定され、1947年2月には通信省からも仮指定製造所の指定を受けた。1946年8月に通信省の上坂八一郎、1948年には元通信省電気試験所から日本放送協会、日本ビクターに転じて

第3表 1948年度第3四半期電解コンデンサ生産割当高と企業の概要

本省直轄 <sup>1)</sup>	生産割当高 (千個)	同左 シェア (%)	企業の概要 (名称, 来歴, 主な出典)	1949年 従業員 数 <sup>2)</sup>	電解コン デンサ生 産開始年
東芝 (長井)	275.0	13.7	東京芝浦電気 (株) 長井工場, 1942年工場設立, 1949年東京電器 (株), マルコン電子 1972。	112	1935年
三光社製作所 (辻堂・山梨)	266.9	13.3	(株) 三光社製作所, 1929年創業, 1934年電解コンデンサ進出, エルナー 1998。		1934年
東研通信	192.0	9.6	東研通信工業 (株), 亀田正記が佐藤電機製作所, 京三製作所を経て 1943年設立, 岩間 1952: 173-174。	E	1943年
日本ケミコン	134.0	6.7	日本ケミカルコンデンサー (株), 1931年佐藤敏雄が創業, 日本ケミコン 1982。	95	1931年
松下 (東京・門真)	132.0	6.6	松下電器産業 (株), 1938年電解コンデンサ開発, 松下電器 1968。	E (東京)	1938年
目黒	117.6	5.9	目黒電気化学工業所, 1933年創業, 1937年電解コンデンサ生産, 『ラジオ電気新聞』19490718: 3, 岩間 1952: 177。	E	1937年
岡本電機	92.0	4.6	岡本電機製作所, 『テレビラジオ年鑑』会社要覧。	F	不明
京三	91.3	4.6	(株) 京三製作所, 1941年電解コンデンサ生産開始, 京三電機『京三電機40年史』。		1941年
興電社	91.2	4.6	合資会社興電社, 1925年村上研究所設立, 1931年電解コンデンサ生産, 1939年興電社, 1948年ワルツ通信工業合資会社。岩間 1952: 92-94。		1931年
日東蓄電器	80.0	4.0	(株) 日東蓄電器製作所, 1941年創業, 1944年狐崎無線の電解設備・技術を譲り受け, 1945年電解コンデンサ生産開始, 『ラジオ電気新聞』19490808: 3。	F	1945年
瑞徳電解	68.0	3.4	瑞徳電解製作所, 『電機通信』194907上: 4。		不明
大森電器	47.0	2.3	大森電器製作所 (資), 電話局通信電源用電解コンデンサ生産のため 1940年設立, 『コンデンサ評論35周年記念特集号 我が社の生い立ち』23-25頁。	F	1940年
北峰電気 (大阪)	39.0	1.9	北峰電気化学工業 (株), 『電機通信』194801下: 6。	F	不明
日本通信	38.0	1.9	日本通信工業 (株), 1937年設立, 前身の一つ三陽社で電解コンデンサ生産, 『三陽社小史』(私家版)。	B	1935年
東和電気 (秦野)	33.0	1.6	東和電気 (株), 1940年東和研究所設立, マイコンデンサ生産, 1947年電解コンデンサ生産開始, 1951年電解コンデンサ部門は分離して東和蓄電器 (株) に, 『コンデンサ評論35周年記念特集号 我が社の生い立ち』145-154頁。	F	1947年
興亜工業社	26.0	1.3	興亜工業社, 1940年創業, 興亜電工『興亜電工三十年史』。	C	1946年
日本無線 (東京)	25.0	1.2	日本無線 (株), 『日本無線史』第11巻, 48頁。	A	1935年
横浜電気化学	20.0	1.0	不明		不明
松代東京無線	12.0	0.6	松代東京無線 (株), 東京無線電機 (株) 関連会社。	E	不明
日南産業	12.0	0.6	日南産業 (株), 『テレビラジオ年鑑』会社要覧。		不明
日本コンデンサー	5.0	0.2	日本コンデンサー製作所 (株), 1933年創業, 紙コンデンサ生産, 松尾電機『松尾電機三十五年史』10-16頁。	F	不明
計	1,797.0	89.8			
地方局					
東京	119.0	5.9			
大阪	85.0	4.2			
計	204.0	10.2			
総計	2,001.0	100.0			

注1) 生産割当は工場単位だが, 企業別に集計し, 工場は ( ) で示した。

2) 従業員数は, 東芝は1949年末の数値で『東京芝浦電気株式会社八十五年史』288頁, 日本ケミコンは, 『日本ケミコン50年史』252頁, 他は『全国工場通覧』1950年版で, Aは1,000人以上, Bは, 500-999人, Cは, 200-499人, Dは, 100-199人, Eは, 50-99人, Fは, 5-49人である。

資料: 『旬刊 ラジオ電気新聞』19481105: 1。

いた丸毛登を採用した。外部から有力な技術者を招いて技術力の強化を図ったのである。

1947年3月、商工省の推薦を得て辻堂に新工場を建設し、1948年2月に操業開始した。建坪250坪で最新鋭の機械を設置した工場は、視察したGHQのウォーカー少佐がアメリカの水準に充分到達していると評したほどであった。ウォーカーはアメリカの有力コンデンサメーカー・デュビアの元技師であったから、ある程度確実な評価であると思われる。さらに、1949年初めには、それまでの電解コンデンサに付き物であった、「パンク」(爆発故障)を徹底的に防止した「ノウパンク」コンデンサを発売し、好評を博した。その結果、占有率は最大になり、トップ企業としての地位を確立した(同上:54)。

東芝とは異なり、戦後の転換に積極的に対応したことがうかがえる。両社の帰趨を分けた大きな要因がラジオ用市場への対応にあったことは明らかである。戦前から同社は問屋経由で小売店頭販売の経験を積んでいたし、セットメーカー向けも多かった。小売レベルでも、同社のブランドである「エルナー」はラジオ・アマチュアに既に広く浸透しており、そのラベルのオレンジ色は「一時は電解コンデンサの代表色の感さえ持たれ」ていた(同上:43)。ラジオ・アマチュアからセットメーカーの技術者になる者も多かったから、セットメーカー需要にもこれは影響した。ラジオ用の実績があったのである。

また、1947年の段階で小規模とはいえ最新設備の新工場を建設したり、外部から人材を招いて技術陣を充実させ、画期的な新製品を開発するといった積極的な企業活動も注目される。これも、規模を縮小させていった東芝とは大きく違う印象を受ける。

この違いは両社の事業経営のあり方の違いを反映しているとみられる。総合電機メーカーであった東芝において電解コンデンサ事業は重要

なものではなかった。長井工場は1949年末で全体の投下資本の0.6%にすぎず、かつ赤字であった(東京芝浦電気1963:288)。過度経済力集中排除法と企業再建整備では処分工場とされたのも無理はなかった。企業全体が厳しい労働争議や企業分割問題に直面しているなかで、電解コンデンサ事業に積極的に関るのは合理的な戦略ではなかった。

その戦略をとるとすれば主体となりえたのは工場経営者であったであろうが、東芝で約10年にわたって工場トップであった松本豊太郎(1942年9月~1950年2月、工場長、1950年2月~1951年12月、東京電器専務・代表取締役)は、前職は化学製作所副所長やマツダ支社技術部長代理であり(マルコン電子1972:5)、大きな組織のなかで昇進を重ねてきた人材であった。工場は1948年には独立採算制になり、1950年には第二会社として独立したが、給料の遅配で本社に融資を依頼する(同:105-106)ような状態では積極的な投資は望むべくもなかったであろう。総合電機メーカーの組織のなかでは、全体のなかでの事業の位置、意思決定の仕組み、事業経営にあたる人材の資質、いずれをとっても戦後の電解コンデンサ事業には有利ではなかった。

一方、三光社にとっては電解コンデンサには経営の命運がかかっていた。経営トップも、もともと本田製作所時代に電解コンデンサの将来性に着目して事業化を働きかけ、電解コンデンサ専業とさせた中村豊(創業者本田卯三郎親戚、1939年~1952年8月、専務、1952年8月~1956年2月、社長)であった(エルナー1998:41)。電解コンデンサ事業に長く携わり、この後も多角化やテレビ進出などを実現する、企業家的精神に富んだ人材であった。

この三光社の特徴は、他の専門メーカーにも共通していた。1948年に第4位の生産割当を受けた日本ケミカルコンデンサー(以下、日本ケミコンと略称)は、そもそも日本でもっとも初

期に艱難辛苦の末、自ら電解コンデンサを開発した佐藤敏雄が経営してきた企業（佐藤電機工業所）であった。佐藤は、終戦後の生産再開にあたって、単に戦前と同じ製品を生産するのでは当座は売れても早晚行き詰まると考えた。欧米製品に対抗できる製品を開発する必要があるとし、欧米に大きく劣っていた、製品技術の核となるエッチングの研究を進めた。1947年末には東京工業大学電気工学科卒で一時東芝に在籍していた永田伊佐也を採用した（永田1983：序）。1946年末には建坪240坪の新工場を買収して本格的な生産体制を整えた（日本ケミコン1982：35-36）。製品技術の革新と工場の整備、技術陣の構築という点で三光社と同じであった。

第3位の生産割当を受けた東研通信工業は、戦前、その佐藤のもとで電解コンデンサ研究製作に10年にわたり携わった亀田正記が起業したものであった。亀田は戦後の出発にあたり、かねての研究成果である、従来製品の1/3に小型化した製品を発売し、好評を博した。生産増強を目指して建坪240坪の工場に移転した（岩間1952：173-174）。ここでも研究開発への志向と工場の整備がうかがえる。

他方、この時期には技術的な蓄積は乏しくても創業する企業もあった。電解コンデンサメーカーは終戦後19社だったのが1949年には42社まで増加した（『ラジオ電気新聞』19490718：1）。新規参入も多かったのである。そのなかから後に有力になるものもあった。2015年の世界第二位のメーカーであるルビコン（前身は信英通信工業）はその代表である。

〔信英通信工業〕

台湾帝国大学附属農林専門部農芸化学科で数年学んだ登内英夫は、1946年に主に抵抗器を生産していた興亜工業社に入り、電解コンデンサ製造に携わった。「なかなか思うようにできず、大変苦労」した（登内1994：46）。同社を

退社後、1952年に有限会社日本電解製作所を創立し、翌年、信英通信工業と改称した。資本金30万円、従業員は8名であった。資金に余裕はなく、東京ヘリユックサックを背負ってアルミ箔などを買いにいった。技術も未熟で、日東蓄電器工業社長の小室源四郎が「そんなにお困りなら、俺のところでは技術者を預かってやるから、社員をよこしなさい」といつてくれたので（同：60）、無料で技術を教えてもらった。「そのことが、技術を進歩させる大きな柱となった」（同）。販路は問屋を回って売り込んだ。資金も技術も販路もない、「三無いの時代」（同）から出発したのである。1955年の従業員数は40名であった（信英通信工業1982：年表）。

こうして戦中までは大企業だった東芝が停滞する一方、多くの専門中小企業が成長の機会を掴んだ。産業組織は、1950年ころには従業員規模で数十人から百人程度の専門中小企業が10社程度、併存しているような状態になったのである。企業成長の重要な要因が技術であったことも個々の事例からはうかがえる。実はそれは、このときの電解コンデンサがもっていた技術的特性にも由来していた。

## II 電解コンデンサの技術課題と技術主体

### 2.1 電解コンデンサの技術的問題

電解コンデンサにはコンデンサとして基本的な利点がある。コンデンサは対向する二つの電極の間に絶縁体を挟んだ構造をしているが、電解コンデンサは、陽極に通常はアルミニウムを用い、それを電解液中で電解したときに表面に発生する酸化皮膜を絶縁体とし、通常はその外側の電解液を陰極としている。コンデンサの蓄電能力を示す静電容量は、電極間の距離に反比例し、電極対向面積と絶縁体の誘電率に比例するから、酸化皮膜を絶縁体とする電解コンデンサは電極間の距離が短く、静電容量に基本的に



有利なのである。さらに、エッチングという、表面に凹凸をつける技術で陽極の有効面積を大きくできる、絶縁体の誘電率も比較的高い、などの特性から、単位体積あたりの静電容量が大きい。つまり、経済的には電解コンデンサは静電容量当たりの価格を他のコンデンサに比べて格段に安価にできるのである（永田 1983：48）。技術的にも大容量用途に対応できる、容量当たりの小型化が容易などの利点があった。価格が安く、大容量に対応でき、小形化も期待できるので、早くから多くの関係者に注目され、事業化が目指されてきたのである。

しかし、コンデンサとしては欠点も多かった。電解コンデンサは「液漏れはする、漏れ電流はある、容量偏差はデタラメだ、損失が桁はずれに悪い、低温になればコンデンサでなくなる、高周波には使えない、寿命が短いなどなどコンデンサとしては全くいいところがない部品」でもあった（桑原 2008：47）。豊かな経済性をもつ反面、それと裏腹に技術的欠陥が多い部品だったのである。電解コンデンサの技術革新の大きな焦点の一つはそこにあり、その改善をめぐる革新が続いていくことになる。

この問題は、とくにこの時期、強く現れていた。ニーズは強いのに欠点も大きかったからである。戦前から戦後にかけて長い間、日本の一般電子部品は性能的にも品質的にも劣悪とされ、機器の性能や品質を阻害するものとして非難され続けていた。なかでも電解コンデンサは「戦前戦後を問わずラジオの故障の代名詞とまでなっって一世を風靡した」（『電波新聞』19520809：13）。「機器に不具合があったら電解コンデンサをまず取り換えてみろ」といわれていたのである（永田 1983：49）。現に 1948 年 9 月～1949 年 8 月に NHK 全国ラジオ相談所が修理したラジオの部品ごとの故障点数は、真空管の 30.8% に次いで電解コンデンサが 12.7% と第二位であった（『電波新聞』19500515：2）。電子部品のなかでも品質面で問題が大きい部品

だったのである。

これは電解コンデンサの需要そのものを制約していた。1947 年の電話中継所の調査では戦後設置した電解コンデンサの劣化などで通信障害が続出し、「新しい装置には電解蓄電器を一切使用しない設計をするという声まで起っ」た（百合野・渡邊 1949：405）。ラジオ用では電源平滑用や濾波用に使用されたが、後者では 1940 年代末には高級ラジオ志向の日本ビクターでは危険と判断されて使用されず（JCC 1987：48）、電解コンデンサを内製していた東芝ですら使わないようにしている始末であった（『ラジオ電化新聞』19490319：4）。三光社の「ノウパンク」コンデンサのように、品質不良への対処が製品差別化の手段としてきわめて重要な意味をもつような技術の状態だったのである。

技術の課題はこれだけではなかった。上記の日本ケミコンのように、エッチングももう一つの課題であった。電極の有効表面積を拡大させ、静電容量を増大させる、性能向上のカギとなる技術であり、日本はこの点で欧米に大きく遅れていたからである。「当時、米国やドイツではすでにアルミ箔の表面積を 4～6 倍にするエッチング技術が開発されていた」のに、日本ケミコンでは 2～2.5 倍が限度であった（日本ケミコン 1982：35）。この状態ではやがて欧米製品に負けて行き詰まるとみるのは自然であった。

これらに加え、製品の性能誤差が大きい、製造工程では爆発故障が頻発するなど、終戦直後の電解コンデンサ製造の状態は、大学で電気工学を学び東芝に一時在籍した技術者の目には「常識からひどくかけ離れていた」ように映った（永田 1983：序）。それらの改善がこの技術に関係する技術主体には喫緊の課題となっていた。

## 2.2 技術主体

そうした課題に取り組んだ機関としては、まず企業があった。専門中小企業が意欲的に革新

にとりくんだことは既にみた。

しかし、各企業の規模は小さかったから、企業内の研究開発能力は限られていた。例えば、2015年に世界最大の電解コンデンサメーカーであった日本ケミコンでも、1940年代末には技術者は社長の佐藤を含めて3人しかいなかった(永田1983: 序)。佐藤自身が懸命にエッチング改善に取り組んでいるような状態であり、技術革新の主体としては、組織というより個人が重要であった。

電解コンデンサの改善に動機をもつ機関は他にもあった。通信を管轄する逓信省の電気試験所は「その将来性は十分に大きなものがあり、電解蓄電器の性能、ならびに現在の製造技術の状況について強い関心を持って」いた(百合野・渡邊1949: 405)。その電信・電話事業を引き継いだ日本電信電話公社の電気通信研究所でも、回路部品課を設置して電解コンデンサの調査研究を行なった(電気通信研究所1965: 321-329)。部品故障の問題や「将来の通信機器の発展は回路部品の発展に負うところが大きいという長期的見通しのもと」(同: 322)、研究、実用化を図った。

放送用機材の研究開発を担うNHK技術研究所(以下、NHK技研と略称)も、そもそも部品の研究を始めたのはラジオに電解コンデンサが使用されるようになった1936年ころからで、それ以来調査研究を進めていた(日本放送協会1951: 986)。受信機の改善と普及という関心からの研究であった。

さらに大学でも、京都大学工業化学や大阪大学産業科学研究所、東京都立大学工業化学など、電気工学、電気化学分野で電解コンデンサ関連領域に関心をもつ研究者がいた。工学的な関心をもたれる対象でもあった。

こうして、ニーズは強いのに顕著な欠陥があるという技術的問題は、この時期、各機関の注目を集めた。各機関の研究開発動機は異なっていたが、関心の対象は焦点化されていた。同じ

課題を共有していたのである。このとき特徴的だったのは、これら同じ課題をもつ関係者の間で直接の交流が発生したことであった。「関係の人が時々会っては、相談というようなことをやっていた」(電解蓄電器研究会1998: 9)のである。

### 2.3 技術者間交流の生成

この交流の発生はこの時期に特有のことであった。戦前のコンデンサ研究開発では企業の秘密主義は顕著であった。電話用の紙コンデンサ開発で進んでいた日本電気では壁を隔離して秘密にして開発したし、沖電気も機密を保つために社員の出入りすら制限しつつ製造した(コンデンサ研究会1957: 13-14)。電解コンデンサ業界でも終戦直後には「各業者は互いに秘密主義をとっていた」(永田1951: 78)。ここではそれとはかなり違う社会関係が出現したのである。

その背後には幾つかの事情があった。高橋(1994)が強調するように、もともとラジオではアマチュアの間の特有な文化が成立し、非公式なネットワークが形成されやすいという傾向があった。その歴史を明らかにした高橋(2014)は、戦時下でも会合を「槍はおろか、爆弾、焼夷弾の降る最中にも、あちこち逃げながら開いていた」十日会の事例を紹介している。彼らにとっては交流自体が楽しみだったのである。

さらに一般に戦時期には、科学・技術分野で共同研究や技術交流、技術公開が一種の流行になっていた(平本2014)。もともとは技術者運動が日本の科学・技術体制を批判して提起した主張で、企業の研究開発の営利主義、秘密主義を克服して日本全体の技術開発を促進するための方策であった。こうした価値観が戦後の電解コンデンサ技術者にも残っていたことは次項にみる。

電解コンデンサでも戦時に共同研究は行なわれた。東芝の事例でみた積層型電解コンデンサ

を開発した理化学研究所の宮田聡は、東条内閣で主任戦時研究員、海軍技術研究所分室長となり、理研、東京帝国大学、日本放送協会、東芝の関係者からなる電解コンデンサの総合研究会を組織し、首班となった（宮田 1972：13）。また、終戦後には宮田の研究室は、被災で東芝長井工場に場所を借りて移り、NHK 技研で部品研究をしていた小林久雄なども合流した（同）。理研、東芝、NHK 技研の交流は続いていたものと思われる。

後の事例になるが、戦後も全日本的な共同研究が組織された。1948年3月、通信省は通信技術委員会のなかに電解蓄電器分科会を設けた。電話中継所の電解コンデンサの劣化や不良を重視した電気試験所材料部、通信部は、通信省工務局調査課伝送係や主要企業を構成員として分科会を設置し、通信用電解コンデンサの調査と企業の技術指導に着手した（百合野・渡邊 1949：405）。企業が提出した試料の各種試験を行い、毎月一回委員会を開き、試験データを中心に研究を行った。

この他、既にみたように、組織間の技術者の移動もこの時期は珍しくなかった。様々な形での交流が発生していたことがうかがえる。

しかも、技術課題は焦点化されていたし、なかには個々の企業ごとの取組みでは対処が困難な問題もあった。良質な材料の調達、とくに高純度のアルミニウムがそれであった。「電解コンデンサを作ろうと努力している人たちにとっては、技術の改善と良い材料を入手するというところに、苦しんで」（電解蓄電器研究会 1998：9）いたのである。共通の課題と協同の契機があった。

そこから、「どうしてもこれは会をちゃんと作ろう」（同上）ということになり、1947年5月、電解コンデンサ技術者の自主的な研究会として電解蓄電器研究会が発足した。

## 2.4 電解蓄電器研究会の設立

設立を主唱したのは、松下電器産業無線製造所東京工場の石田勉であった（小林 1953：1）。石田の呼びかけで、NHK 技研でラジオ部品を担当する第二部副部長だった小林久雄ら数名が集まり、石田が事務局を引き受けて会が発足した。会の目的は、「電解蓄電器の製造又は研究に従事する技術者の相互連携を計り、共同の研究を行ない互に切磋琢磨してその技術を向上、以て電解蓄電器工業に寄与する」ことであった（小林 1977：1）。会長は無線通信機械工業会技術部長の荒川大太郎であった。

当初の会則は不明だが、それを引き写していると思われる 1950年の「関西支部規約」では、正会員は「電解蓄電器の製造又は研究に従事する技術者」であり、賛助会員として「正会員の所属する法人団体又は本会の目的で賛助するもの」があった。運営はそれぞれの会費、入会金などで行われた。つまり、技術者個人の会であった。

設立時点の会員は個人会員 52名（月会費 10円）、賛助団体は 20（月会費 100円）（『電解蓄電器研究会会報』第 4報：76-77）であった。1948年3月には個人会員 69名、賛助団体 27となったが、その時点で賛助団体をみると、企業では第 3表の 1948年 3 四半期に生産割当を受けた 21社のうち 16社が参加しており、割当上位の企業はほとんどが参加していた。公的研究機関としては通信省電気試験所、NHK 技研、大学では京大工学部工業化学教室や阪大産業科学研究所が参加した。外見上は、当時、他産業でも流行した全日本的な共同研究組織と似ているが、二つの点で大きく異なっていた。一つは構成メンバーは機関ではなく個人であったこと、もう一つはその中心的存在が民間企業の技術者だったことである。他組織との異同という点では、研究者の創意から発生し、研究者・技術者自身の動員を強調した戦時中の「研究隣

組」や真空管同好会（青木・平本 2003）と類似していたといえる。

事実、中心となるメンバーの価値観には 1930～40 年代の技術者運動の影響をみてとることができる。主唱者の石田にとっては、「忠実なる松下電器社員であると共に、よき日本技術者である」（永田 1953：4）ことが重要だったし、NHK 技研の小林も「お互いにより一層協力を密にして、少しでも祖国再建に尽くしたい」（小林 1948：1）と主張した。

しかし、戦争は終り、企業関係者としての利害は当然あったから、相互連携や共同を謳ってはいても、その実現は容易ではなかった。企業の技術者たちには「なるべく話さず、なるべく聞きたいと言う気持ちが誰の心にもあり」（永田 1953：4）、「関係技術者ノ中ニハ未ダ電解蓄電器研究ニ関シ消極的ナ態度、否日和見的ナ態度」（編集後記）『電解蓄電器評論』第 5 報：194808：33）の者もいた。「2、3 ヶ月モタテバ次第二不活発ニナリ結局竜頭蛇尾ニ終ワルノデハナカロウカ」など、「一般ニ悲観的デアッタコトハ今迄ノ此ノ種ノ会議ノ成行ヲ知ッテ居ル私達ニトッテハ無理モナ」かった（石田 1948：1）。

これに対し、主唱者の石田は、「相互に研究の成果を公開し、互の批判の上に次の進歩を作りあげて行くことが弱小資本主義国の技術者に如何に必要」かを説き、協力を呼びかけた（永田 1953：3-4）。「会員諸氏ニ於イテハ環境ガ許サヌ点ハ多々アル事ハ否メナイガ出来得ル限りヨリ積局（ママ）ナル御協力ヲ御願ヒ致ス次第」（編集後記）『電解蓄電器評論』第 5 報：194808：33）と強調した。

会則でも、「本会の会員は会議の決議に基づく研究を施行し且つ其の成果を公表する義務を有する」こととした（『電解蓄電器評論』4(1)：61-62）。会員は会としての研究を実施し、成果を公表する義務を負ったのである。聞くだけで報告しないという参加を許容しない姿勢が明確であった。結果としては、会は「竜頭蛇尾ニ終

ワ」らず、変質しながらではあるが、2015 年まで約 70 年近くも続くことになった。

## 2.5 電解蓄電器研究会の活動

会の収入は 1947 年 5 月～1948 年 3 月のものしか明らかにならないが、総額は約 66 千円で、うち個人会費が 2 割、賛助会員の会費が 8 割であった（『電解蓄電器研究会会報』第 4 報：76-77）。費用の面では企業が中心となったのである。

会の事業としては、研究会を 1947 年には月 2 回、翌年からほぼ月一回、開催し、雑誌（『電解蓄電器評論』）を刊行した。そこで各人の研究成果を発表するとともに、当時は入手しにくい外国文献を紹介し、翻訳して配布した。特許の調査も行った。雑誌は公開していない。その点、学会とは違っていた。

さらに工場を相互に見学した。「互いに工場を見せ合おう…良い点があったら学ぼう」（電解蓄電器研究会 1998：9）ということで、主に 1948 年から 1950 年にかけて実施した。1955 年までは続いたという（桑原 2008：29）。

研究の具体的内容としては、1947 年から 1953 年にかけて「先ずとり上げられたのはアルミニウムの純度の問題…セパレーターの改良、ケース密閉方式の改良、又、硼酸アンモンの規定等」であった（小林 1953：1）。アルミニウムは陽極素材、セパレータは陽極と見かけ上の陰極である金属（真の陰極は電解液）の間に挟んで電解液を保持する電解紙、硼酸アンモニウムは電解液に使用される薬品、ケース密閉方式については後述する。

このうち、電極箔に使用するアルミニウムは、第一回の研究会から問題にされ、住友アルミから異なる組成の試料の提供を受けて、どんな不純物が製品特性などにどう影響するかを、住友アルミも含め、NHK 技研、松下電器、東芝、日本通信工業、東研通信の 6 機関で実験、結果を報告した。硼酸アンモニウムについても関東

化学から提供された試料を5機関が実験、分析した。共同研究で分析を深めたのである。

研究会の活動の意味は、しかし、こうした公式なものにとどまらない。活動そのものが技術者間交流を深める機会でもあったからである。技術者たちは毎月二回か一回、研究会で議論し、「研究会が終わった後で、また数社の技術者がコーヒー屋に行って、どうしようと相談」（電解蓄電器研究会 1998：9）した。研究会や幹事会は「夜おそくまでに及んだことも屢々」（小林 1953：1）であった。しかも、主要メンバーは固定していた。1947～1955年の期間でみると、NHK技研の小林は創立以来1955年まで副会長、日本ケミコンの永田は1948年、1950～55年に幹事、三光社の丸毛も1950～55年、幹事であった。彼らの間に濃密なネットワークが形成されたことは疑いない。

こうして、相互連携と共同研究、切磋琢磨は順調に始まったとみることができる。後に、永田は「電解蓄電器研究会の初期に於ては、現在の状況から考えると信じられないほど会員達は協調的でした」と回想している（永田 1977：11）。「会社の商売というものを超えたような強い協力が行われ」たのである（電解蓄電器研究会 1998：9）。

では、こうした技術主体のあり方は具体的には技術革新にはどう働いたのか、技術革新の側からみてみよう。

### III 技術革新の進展

電解コンデンサ技術でこの時期にとくに問題になったのは、性能向上のカギとなるエッチングと品質向上のカギとなるケース密閉方式であった。とくに前者は電解蓄電器研究会の設立当初から「我々の今一番興味を持つ此のエッチング」（『編集後記』『電解蓄電器評論』第4報：194805：80）といわれ、皆の関心が集まった。

#### 3.1 エッチング

アルミ箔をエッチングして粗面化し、表面積を拡大しようという技術は1922年にアメリカで提案され、1938年には製品に応用された（渡部 1943：13-16）。日本でも1940年代に実用化された。しかし、終戦時には欧米製品の倍率が4～6倍だったのに、日本では技術研究に熱心だった日本ケミコンでも2～2.5倍くらいであった（日本ケミコン 1982：35）。

日本ケミコンではアルミ箔を塩酸に浸す、ブラシでこする、赤土を擦りつけるなどの方法を試したが、いずれも結果は良好ではなかった（同上：38）。同社の永田が松下電器東京工場を見学すると、そこではより進歩していて、塩化第二銅を加えた塩酸中に浸し、最後に硝酸に浸して銅を除去するという方法であった（JCC 1987：55）。塩化第二銅を用いる方法は、松下が1944年に航空機無線機用として小型化を迫られたことから考案した方法で「当時としては画期的」であった（松下電器 1968：346-347）。これなら、倍率は3.5倍くらいになった（JCC 1987：55）。

この時点ではエッチング技術は各工場でかなりの違いがあった。業界第二位の三光社では、1946年8月に通信省から入社した上坂八一郎によれば「終戦直後の電解コンデンサの一大革命は、何といたってもエッチングの実施による小形化であったと思う。当時、入手し得る文献は微々たるものであり、技術的情報として知り得たものは塩酸と硝酸を用いるということのみで、詳細は皆目判らなかつた」（上坂 1968：54）という状態であった。一番進んでいたのが松下の方法であった。この塩化銅を加える方法は、岩崎通信機でも1949年には採用しており（飯田 1949：14）、三光社では1950年に採り入れた（エルナー 1998：52）。おそらく工場見学もあって急速に技術は普及したのである。

しかし、日本ケミコンの永田は、こうした化

学的エッチングより、電解腐食によるエッチングの方が優れていると判断した (JCC 1987: 55)。交流によるエッチングは既にイギリス・デュビアアが 1935 年に特許を出願していたし (同: 71)、電解蓄電器研究会や他の学会でもこのころ、電解エッチングについての報告が相次いでいた。

1948 年 12 月には阪大産業研究所永瀬邦男が電解エッチングについて電解蓄電器研究会で実験結果を報告した (永瀬 1948)。直流、交流ともに「粗面度を 3 倍にすることは容易」との結果であった。NHK 技研の城田誠も電解エッチングでは洗浄が問題になるが、熱処理をすれば結果は良好と報告した (城田 1948)。NHK 技研は 1949 年 5 月に交流電解エッチング、1950 年 5 月に塩酸酸化銅による直流エッチングについて発表し、8 倍弱の倍率を得たとした (小林・城田・鳥居 1949, 小林・城田・片岡 1950)。1950 年 11 月には東京都立大工業化学の田島栄・飯田文雄は、電気化学学会秋期講演会で電解エッチングの諸条件について発表した (田島・飯田 1951)。さらに 1951 年、NHK 技研は、化学エッチング又は直流エッチングをした後、交流エッチングをすると劣化の少ない電解コンデンサができると報告した (小林他 1951)。1953 年 1 月には、都立大の田島栄・牧野昭は化学エッチングのあとスルホン酸を加えて交流電解エッチングをすると倍率 5 倍程度が得られたと発表した (田島・牧野 1953)。

日本ケミコンの永田は、1952 年に交流エッチングした後、直流エッチングを施す方式を開発し、特許を出願した (第 208788 号)。これで倍率は 7~8 倍 (永田 1952: 6) にもなった。かつ巻取箔を使用して連続的に行うことに成功し、「高倍率、均一性、強度等の面でしばらく世界のトップを走」ったという (JCC 1987: 55)。1955 年に NHK 技研が欧米 8 ヶ国、19 社の製品を調査したところ、エッチング倍率は特殊方式であるメタリコン方式を除いて 3.0~6.0

倍であったから (日本放送協会 1955: 73)、永田の方法が世界的に優れていたことは確実である。

三光社も 1952 年に電解エッチングに着手し、NHK 技研の小林の指導を受けて 1954 年 7 月に業界に先駆け連続式交流エッチング機を設置した (エルナー 1998: 45, 231)。松下も 1953 年に直流による電解エッチングに切換えた (松下電器 1968: 346)。第一通信工業、東研通信工業は、1952~53 年度に NHK 技研から交流式エッチングの技術指導を受け (日本放送協会 1961: 206)、第一通信工業は 1952 年 7 月にそれによる小型製品を発表した (『ラジオ電化新聞』19520706: 2)。日本通信工業は遅れて 1955 年にこの方法に切り換えた (社史編纂委員会 1993: 67)。信英通信工業も日本ケミコンの永田から教えられて 1955 年に直流エッチングを採用した。同社の登内は、面識はなかったが日本ケミコンを直接訪れ、「永田詣でを繰り返してエッチングについてのヒントを得」たのである (ルビコン 2005: 62)。こうして数年で各社は化学的エッチングから、電解エッチングに転換した。ただ、その方法については各社ごとの違いはあった。

この結果は、少し前には企業によっては「(エッチングの一引用者) 詳細は皆目判らなかった」(上坂 1968) 状態から出発したことを思うと劇的であった。この急速な技術革新の基盤に技術者間、組織間の交流があったことは明らかである。工場見学、先行特許、各種報告、研究会などでの議論、異なる機関の間の技術指導、技術教唆などである。

もう一つの焦点であった品質の向上については少し違っていた。

### 3.2 ケース密閉方式

製品不良対策として当初、問題にされたのは、原因を探求することであった。まず、製品劣化と湿気との関係がとりあげられた。1947 年 6

月2日の第二回研究会でNHK技研の小林が「防湿と製品劣化の関係」を報告したのを始め、同年11月25日には松下・東芝、12月22日にはNHK技研・東芝・松下が、翌年2月2日にはNHK技研、松下の技術者がそれぞれ防湿の問題を報告し、論文としても発表された(望月・関屋1947、小林・片岡1948)。このうち望月・関屋(1947)は、「劣化の第一原因は湿気と考えてよい」(同:46)とし、従来の紙ケースに対し「金属ケースは此の点非常に有利」(同:47)とした。小林・片岡(1948)も同様の結論であった。当初の電解コンデンサはカードボードやブリキをケースとし、封口部にはピッチを充填材としていたからである。

そうはいっても、金属ケースの採用はそう容易なことではなかった。アメリカではアルミのケースはあったが(電解蓄電器研究会1998:11)、紙からアルミに代えれば製品単価は高くなるし、加工面でも日本ではプレスでうまく絞れるアルミ材を確保するのは困難であった。日本ケミコンではようやく1949年から1950年ころにアルミ絞りのケースを採用した(同:12)。三光社も1949年(エルナー1998:231)、松下も1950年に採用した(松下電器1968:351)。東研通信工業でも1951年にドイツからプレス機を導入しシールドケースを量産した(『電波新聞』19510925:4)。1951年のラジオ受信機改善委員会の『電解技術白書』では、「ケースはカードボードケースやブリキから殆どアルミ絞りケースになった」(『電波新聞』19511005:2)とした。

これと並行して、封口部の改善も行なわれた。不完全な封口では電解液が漏れるからである。1950年ころから完全な密閉を目指して「外国製品の影響で各社競って開発したものであるがケース内にアルミ以外のものを使って各社とも大失敗をくりかえした」(上村1972:124-125)。東芝も「ピッチでリードを埋め込んだ構造を実施して失敗した」(同)。松下も最初に

アルミケースを採用したモデルではリード線をピッチで封入した構造だったので、リード線を伝わって毛細管現象で電解液が漏出した(松下電器1968:351)。企業だけではなく、電気通信研究所でも「密閉形が寿命改善に必要であることがわかり、密閉形の研究が行なわれた」(電気通信研究所1960:328)。

日本ケミコンの永田は、充填材としてピッチを使用すること自体が間違っていると判断し、アルミをケースにしたうえで密閉部にはゴムパッキンを使用する、ハンダ付け可能端子は外部に置き、内部端子との接続は電解液で腐食しないアルミにするなどの構造の根本的転換を社長の佐藤に提案した(JCC1987:50-51)。アメリカでもまだカルバナワックスによる充填方式が一般的であったときにゴム栓を採用しようというのである。単価は当然上るが佐藤はこれを了承した。しかし、部材の鉸や丸棒などに用いる高純度のアルミ素線の調達には容易ではなかったし、封口部材のゴムやベークライトも同様であった。住友化学の協力で高純度アルミ棒を調達して特殊線メーカーでアルミ線にし、ゴムメーカーなどの協力も得た。「多くのメーカーのお世話になった」(JCC1987:54)のであった。1952年の末にはこの構造になっているが、その完成まで5年がかかった(永田1952)。日本ケミコンの製品は順次この構造になり、「他のメーカーもこれに追従していった」(JCC1987:54)。松下では、1951年に軟質ピッチゴムをベークライト板に挟んだ封口方式を採用し、1954年にはその作業性を改善するため硬質ゴムとベークライト板を貼り合わせ端子板に端子をリベットかしめする、その後の主流となるタイプを開発した(松下電器1968:351)。こうして、業界としては「関係者の4~5年に亘る努力の結果…密閉構造の基本は」1955年を過ぎたころ確立した(上村1972:124-125)。

先の1955年のNHK技術研究所の外国製品調査では、「外国製品のものにも蓄電器素子を

コンパウンドを用いて固定する旧式の方法を採用しているものがあり驚い」(日本放送協会 1955: 73) ている。それまでに日本製品の構造は転換していたのである。

これは、製品不良率の低下に大きく貢献した。1952 年ころからは有力工場を先頭に JIS 規格審査との関連で品質管理が導入され始めており(岸本 1958), その効果もあって不良率は急速に低下した。某企業の製造工程での不良率は 1950 年 5 月には 30% であったが、一年後の 1951 年 5 月には 8% に低下した(『電波新聞』19511005: 2)。製品レベルでも、1954 年 1 月から 1955 年 3 月までのブラジル向け輸出ラジオ部品検査では不良率は 0.8% であった(『通信工業会報』3(5): 195505: 5)。こうして「ようやく電解コンデンサが安心して使える部品の地位を得た」(桑原 2008: 31) のであった。

この密閉方式の革新でも社会的相互作用が重要なことはいかがえるが、エッチングの場合と違うのは、研究会の主要関心事の一つではあったが研究論文はあまりみられないこと、関心をもった主体も公的研究機関や企業で、大学関係者はもたなかったことである。各企業が独自に様々な工夫をし、失敗を重ね、その結果、業界の基本形が形成された。その工夫には、関連資材・部品の調達、加工の問題があったので、関連企業も重要な役割を演じた。革新の主体とプロセスが少し異なっていたが、同じように社会的相互作用の結果であり、要した時間も同じくらいだった。

#### IV イノベーションのシステム

この技術革新の過程を経済の視点からみてみよう。

##### 4.1 イノベーション・システムの構成

直接の実施主体として重要だったのは企業で、とくに専門中小企業が先導的であった。両

事例とも日本ケミコン、三光社製作所が早かった。ともに戦前からの専業企業で、技術志向が強い企業であった。

革新に要した投資の面を日本ケミコンで見ると、同社の最初の貸借対照表数値が判明する 1957 年度末の固定比率は 69.8% であった(『会社総鑑』1960: 58)。かつ株式は非公開で会社役員が株主だったから、この時期の設備投資は内部資金で賄われていたとみてよい。この革新は個人企業でも投資可能な規模であった。

こうした技術志向が強い専門中小企業が先導的だったことは、個人の活動だった電解蓄電器研究会にも影響した。この会では「会社の商売というものを超えたような強い協力が行われ」たが、それは「経営者もそれに賛成」だったからで、だからこそ相互に工場を見学することも可能となった(電解蓄電器研究会 1998: 9)。会費も大半は企業の負担であった。こうした企業は、個々の技術革新を先導しただけではなく、技術者たちの企業を超えた活動を許容することも革新をめぐる特有な社会関係の形成に寄与したのである。

市場も技術革新に適合していた。市場の大きな部分を占めていた組立ラジオ向けでは、性能、品質の良い部品への志向が強かったからである。1954 年 7 月のラジオ・アマチュア調査では、ラジオ部品を選ぶ理由は「前に使って良かったから」が 59.7%, 「有名品だから」が 19.4% と多かった(「ラジオアマチュアに関する十二章」『ラジオ電化新聞』19540829: 4)。他方、「値段が安いから」は 8.4% にすぎなかった。ラジオ・アマチュアは無線雑誌などを通して情報を入手することが多いから、性能、品質の良い製品が人気となる傾向が強かったと推定できる。この点、同じように問屋流通、個人需要が主流であっても粗製濫造が跋扈した 1920~30 年代前半とは大きく違っていた(平本 2000)。

現に、1951 年 9 月の『ラジオ電化新聞』の読者が選択する部品についての投票では、電解



コンデンサについては第一位は日本ケミコン、第二位が三光社、第三位、目黒電気化学、第四位、東研通信、第五位、ワルツ通信の順であった（「私の選ぶラジオ商品」『ラジオ電化新聞』19511031：4）。革新を先導した企業の製品が人気だったのである。

他方、1950年代から増加したセットメーカー向けでも、その時期からセットメーカーのなかでは大手企業の優位が明瞭になっており、ブランドを重視するそれら企業が製品品質に強く影響する部品の品質に拘るのは当然であった。日本ビクターや東芝は電解コンデンサのラジオでの使用を制限していたし、部品点数が増加するテレビでも品質への志向は強かった（平本1994：45-50）。日本ケミコンの永田は、1947年末に「入社して第一番目の目標に置いたのは、ビクターに安心して使用してもらえる電解コンデンサを作ることであった」（JCC 1987：48）という。ただ、1952年に同社に入社した営業課員の証言によれば<sup>2)</sup>、1952～53年でも同社の販売先の9割は問屋であり、製品革新への圧力自体としてはこのセットメーカー向けニーズが強かったわけではないであろう。

技術革新の主体としては、公的研究機関や大学も重要であった。とくにNHK技研は研究上の貢献だけでなく、複数企業に技術指導や技術移転も行った。また、全日本的な共同研究体制の継続にも基軸的な役割を果たした。電解蓄電器研究会の会長は1948年から長くNHK技研の関係者が務めたし、研究会の事務局も1951年1月には松下電器からNHK技研に移った。電気試験所も通信省通信技術委員会電解蓄電器分科会を組織し、電解コンデンサの改善に取り組んだ。ともに、企業にとっては有力なエンジニアの供給源でもあった。また、研究と発表のレベルでは大学研究者も重要であった。

2) 1998年1月8日、元日本ケミカルコンデンサー・東京営業部第一営業部長代理・野村新氏インタビュー。

さらに、主体としては個人にも注目する必要がある。この時期には各組織の規模はまだ小さく、組織の能力というより個人の活動が重要であった。そしてこの時期の個人は特有な価値観をもち、ナショナリズムのもと相互の連携と切磋琢磨を追求した。電解蓄電器研究会はそのことで形成されたもので、異なる機関に所属する個人間の直接の交流と競争関係が制度化された。

こうした、主体、関係、環境のあり方をイノベーションのシステムという点からみると、各主体間の交流と競争が重要だったという意味でオープンな性格が強かったといえる。組織内の研究開発より、主体間の相互作用の方が革新には意味があった。

そのことは、イノベーションの達成にかかる個々の主体の負担という問題にも影響した。システムの主体の構成と費用負担という点からみると、先導的だったのが中小企業で投資も内部資金で調達可能だったことからみて、企業部門はそう多額の費用を支出したとは思われない。他方、大学、公的研究機関は重要な貢献をしているが、その費用は政府（国立大学、通信省）、公的機関（日本電信電話公社、NHK）の負担であった。研究会の活動や個人間の交流もそう費用のかかるものではなかった。個々の企業の側からみると多額の費用負担なしに大きな効果を得ることになったのである。

全体の知識形成と主体という点でも同様の問題を指摘できる。一般にある知識の形成が社会的に行われれば行われるほど、個々の主体が支出する労力は全体のそれに比して小さくてすむと思われるが、ここでは知識形成が特有な研究会を中心としたオープンな性格をもっていたことがその傾向を促進した。各機関の研究開発成果を他機関は頻繁な研究会の報告や議論、相互の工場見学、研究論文などで入手できたから、それだけ入手できる知識は深く、かつその時期も素早く、入手にかかる労力も少なくてすんだ

と考えられる。つまり、特有なシステムのおかげで個々の主体は少ない労力で社会的に達成された大きな成果を入手できたのである。エンジニアが3人しかいなかった日本ケミコンが短い期間に次々と主要な革新を先導できた基盤にはこうした知識形成システムがあったと見て間違いないであろう。

#### 4.2 イノベーションの効果

イノベーションは産業に大きく影響した。第一に企業としては専門中小企業が成長した。第4表の各企業の推移をみると、とくに日本ケミコンの成長が著しい。資本金の伸びでみると、日本ケミコン、三光社、東京電器の順である。日本全体の生産額と同社売上高の比較では、1951年6.1%、1955年10.9%と上昇した（日本ケミコン1982：54）。同社の営業成績が判明する最初の年度である1955年度では売上高利益率は15.9%に達した（『会社総鑑』1960：58）。

もちろん製品革新の成功だけが成長の要因とはいえない。しかし、製造工程についてみると、まだこれら企業の工場規模は小さく、巻き込みの自動化などの生産工程の機械化が進むのはこの後のことである（桑原2008）。販売についても、少し後のことになるが1961年ころの日本ケミコンの取引先からの評判は、品質など製品技術は他社に比べて良いが価格が割高で営業の態度が悪いというものであり、販売に優れていたようにはみえない<sup>3)</sup>。例えば、NHK用度課で

は、「(同社が—引用者)製品に対する自負の念があまりに高」く、「あく適も売ってやろうとする態度」だったので1961年4月ころに「一時取引を中止東芝に切替えたが、技術部門からの要請で又日本ケミコンに切替えた」のであった<sup>3)</sup>。三光社の場合も「当社製品は良質だが高いという定評」であった（『電波新聞』19560725：1）。これらの企業は製品技術での差別化で価格を高め維持できていたのである。これが高収益と高成長の主因であったと推測できる。

しかし、このイノベーションのシステムでは企業秘密の壁は低かったから、個別企業のある技術での優位はそう長く続かない傾向にあった。例えば、日本ケミコンはエージング工程の工夫で歩留りを画期的に上げたが、工場見学で他社に知られることになった（JCC1987：59）。工場見学、研究報告、議論、相談などは、企業間の技術格差を絶えず縮小するようにも機能したことは確実だから企業間競争を促進するものでもあった。この企業間技術の平準化、企業間競争の激化をイノベーションの第二の効果にあげることができる。

となると、イノベーションの効果は社会に拡散した部分も大きかったと考えられる。これが第三の効果である。とくに、その恩恵を受けたのは直接の需要者であった。

具体的にみると、性能面ではエッチング倍率の上昇で小形化が容易になったから、1950年代前半から始まったラジオのポータブル化にはその面では有利であった（『ラジオ電化新聞』19510424：3）。品質面でも、1953年に放送が開始されたテレビでは使用する受動電子部品数がラジオの約10倍になったから不良率を維持するには部品の不良率は1/10になる必要があったが（小林1954：1）、電解コンデンサは、

ミカルコンデンサー）、1960-61年、東北大学大学院経済学研究科所蔵『服部文書』。

3) 電子部品企業の経営コンサルタントであった服部経営研究所の1961年の調査では、日本ケミコンの販売先で品質、技術面を高く評価していたのは、広瀬無線電機、菱三電気、山際電気、ミナミ無線電機、ソニー第二製造部、日本サーボ、NHK、兼松、などであり、単価が高いとしていたのは、志村無線電機、広瀬無線電機、兼松であった。営業に問題があると指摘したのは、日本サーボ、NHKで、ともに営業の態度が「売ってやる」という高姿勢であったという。服部経営研究所「会社ノート」（日本ケ

第4表 各社の成長

(単位：資本金は万円、従業員数は人)

年度	東京電器		三光社製作所	日本ケミコン		信英通信工業	
	資本金	従業員数	資本金	資本金	従業員数	資本金	従業員数
1947				20	52		
1948		312		100	80		
1949		112	100	200	95		
1950	1,000		100	200	121		
1951	1,000	76	100	300	190		
1952	1,000		100	500	224	20	8
1953	1,000		400	1,000	238	30	17
1954	2,000		400	1,200	241	30	30
1955	2,000		400	1,200	288	100	40

資料：マルコン電子 1972, 東京芝浦電気 1963, エルナー 1998, 日本ケミコン 1982, 信英通信工業 1982。

以前とは違い、真空管や抵抗器に比べてこの点では良好であった（小林 1977：5）。こうした点では電解コンデンサはもはやセットの発展を阻害するものではなくなったのである。

価格は、第5表のように、代表的な製品で見ると1947～53年に実質値で4割の水準に低下した。テレビで見れば、当初のテレビ一台当たりの電解コンデンサの価格は約3,500円くらいで（上坂 1968：56）、1953年ではテレビ小売価格の約2%にあたったから、この間、6割も価格が低下したことはテレビ価格にとっても小さくはなかった。

さらに、革新の効果は当初の直接の需要者以外にも及んだ。当初、信頼性の問題で使用されなかった、通信機や測定器などにも1950年代前半には電解コンデンサが使用できるようになり（藤井 1954：231）、1955年ころには汎用モータなど通信関係以外にも用途は拡大した（小林 1977：5、広瀬 1958：79）。電解コンデンサが使用される分野が広がっていったのである。前掲第1表のように固定コンデンサ中のシェアは上昇した。

こうしてイノベーション効果が社会に速く拡散されたことで産業自体は成長していった。こ

第5表 電解コンデンサ（450 V8m F）価格推移

年月	卸売価格 (円)	価格種類	実質価格指数 (1947年4月 =100)	出典
1947年 4月 28日	55.50	統制額 (物品税を含む)	100.0	『ラジオ電気新聞』19470505：3。
1947年 8月 28日	155.40	同上	142.9	『ラジオ電気新聞』19470915：2。
1947年 12月 17日	150.75	同上	99.5	『ラジオ電気新聞』19480125：8。
1950年 5月	190	大阪標準卸相場	45.6	『大阪電気新聞』19500501：3（日本電気通信工業連合会『日通連速報』第10号、19500201：所収）。
1953年 6月	255	東京卸価格 (東研通信工業)	40.1	ミナミ無線電機提供東京卸価格『電波新聞』19530613：4。

注1) 実質化は戦前基準卸売物価指数（1934-36年=1）を用いた。

の産業成長が第四の効果であった。

### おわりに

戦後復興期の経済史研究で技術が問題にされるときは、日本の技術の遅れや対策としての大企業による外国技術導入に光が当てられることが多い。しかし、ここで問題にした電解コンデンサでは様相はかなり異なっていた。第一に、この時期は独自の急速な技術革新と世界レベルへの到達の過程であり、第二に、しかもそれは大企業ではなく、専門中小企業が先導したことであった。第三に、産業レベルでも成長率は高かった。技術と産業は独特な発展の時期だったのである。

ここでは、その革新をもたらしたシステムとその結果について考察した。異なる動機と性格をもつ多くの主体の独特な相互作用が重要であった。なかでも個人は相互連携と切磋琢磨の仕組みを構築した。企業は中小企業が先導的で革新の収益面での恩恵を享受した。また、革新効果は社会に速く拡散され、機器側は発展し、産業自体も成長した。

こうした論点は、先行研究に新たな論点を提起することにもなる。有力先行研究である中島(2019)は、日本の電子部品産業の特徴を独立志向の強い専門メーカー中心というところにみて、そうした企業が群生した戦後復興期を産業形成期とした(同:68)。創業型企業の重要性や占領軍による資材割当ての部品メーカーの重視、問屋流通による中小企業の市場機会の獲得などをこの時期の専門中小企業の形成と成長の条件として重視している。本稿は専門中小企業の成長の有力な要因としてこの時期のイノベーションとそのシステムを付加するものでもある。特有なイノベーションのシステムが形成されたからこそ、小さな投資と労力で大きな効果が得られ、先導した中小企業は急速に成長できたのである。

また、独自のイノベーションのシステムと社会拡散の速さという論点は、戦後エレクトロニクス産業史における機器と部品の関係という問題に新たな光を与えるものでもある。これまでは機器側の発展が部品の成長をもたらすという因果関係が強調されてきたが(例えば平本1994:45-50)、逆方向の因果関係、つまり、部品独自の革新が機器の発展を支えるという側面がこの電解コンデンサの場合には明らかである。技術の世界水準への到達も機器側のそれとほぼ同時期であった。戦後日本のエレクトロニクスの発展は、機器と部品の相互発展という、複合的な構造になっていたことをそれは示している。冒頭の課題との関連でいえば、部品独自の国際優位という現象は実は早くから始まっていたのである。

### 参考文献

(略記)

新聞、雑誌の引用は次のように略記する。

『電波新聞』1955年5月15日、2頁⇒『電波新聞』19550505:2。

『社会経済史学』第68巻第5号、3-24頁⇒『社会経済史学』68(5):3-24。

(文献)

青木洋・平本厚(2003)、「科学技術動員と研究隣組—第二次大戦下日本の共同研究」『社会経済史学』68(5):3-24。

飯田正雄(1949)、「電解コンデンサー用陽極箔のエッチングに関する二三の考察」『電解蓄電器評論』3(8):13-18。

石田勉(1948)、「研究会一年ヲ顧テ」『電解蓄電器研究会会報』第4報:1。

石山四郎(1981)、『命知の国際経営』学習研究社。岩間政雄編(1952)、『全ラジオ産業界銘鑑』ラジオ産業通信社。

エルナー社史編纂委員会編(1998)、『エルナー30年の歩み』同社。

岡本無線電機株式会社社史編纂委員会編(1992)、『電子部品流通と共に—岡本無線電機50年史』同社。

上坂八一郎(1968)、「エッチングの想い出」『コン

- デンサ評論』21(1・2)：54-56。
- 上村久吉 (1972), 「電解コンデンサの今昔」マルコン電子 1972：124-125。
- 岸本孝之 (1958), 『品質管理の進め方—JIS 工場の実例を中心として—』同文館。
- 桑原詮三 (2008), 「電解コンデンサの発展途上における過去の問題点」『電解蓄電器評論』58(2)：21-52。
- 小林久雄 (1948), 「協力研究の急務」『電解蓄電器評論』2(6)：1。
- 小林久雄 (1953), 「石田さんをしのぶ」『電解蓄電器評論』7(1)：1。
- 小林久雄 (1954), 「受信機の部品と安定性」『テレビジョン学会雑誌』8(3)：1-6。
- 小林久雄 (1977), 「電解蓄電器研究会 30 年の歩み」『電解蓄電器評論』31(1)：1-10。
- 小林久雄・片岡一男 (1948), 「電解蓄電器湿度試験結果報告(第一報)」『電解蓄電器研究会会報』第3報：13-19。「同(第二回)」『電解蓄電器評論』2(5)：14-22。
- 小林久雄・城田誠・鳥居英次 (1949), 「電解蓄電器小型化の研究」『NHK 技術研究』(1), 12-17。
- 小林久雄・城田誠・片岡一男 (1950), 「電解蓄電器小型化の研究(其の2)」『NHK 技術研究』(3), 15-19。
- 小林・鳥井・城田 (1951), 「交流電解エッチングの効果」『電解蓄電器評論』5(3)：57-62。
- コンデンサ研究会 (1957), 「紙コンデンサ研究会 10 周年記念『コンデンサの発展を回顧して』座談会」『コンデンサ評論』10(9・10)：7-54。
- 佐々木茂蔵 (年不詳), 『あのとき, その方は』私家版。
- JCC30 年史編纂委員会編 (1987), 『JCC・30 年史—コンデンサとともに—』日本蓄電器工業株式会社。
- 社史編纂委員会編 (1993), 『日通工 75 年史』日通工株式会社。
- 城田誠 (1948), 「Al 箔 Etching 後の表面洗浄に就て」『電解蓄電器評論』2(7)：7-9。
- 信英通信工業株式会社編 (1982), 『信英通信工業 30 年史』同社。
- 高橋雄造 (1994), 「戦後日本における電子部品工業史」『技術と文明』9(1)：63-95。
- 高橋雄造 (2014), 「unofficial なセクターによるイノベーションへの貢献—電子工業における共同研究会の歴史—」平本 2014：184-224。
- 田島栄・飯田文雄 (1951), 「電解コンデンサ陽極箔の電解エッチについて」『電気化学』19(9)：283-285。
- 田島栄・牧野昭 (1953), 「電解コンデンサ陽極箔の電解エッチについて(その2)」『電気化学』2(1)：10-13。
- 電解蓄電器研究会 (1998), 「創立 50 周年記念パネルディスカッション」『電解蓄電器評論』49(1)：7-37。
- 電気通信研究所十五年史企画編集委員会編 (1965), 『電気通信研究所十五年史』日本電信電話公社電気通信研究所。
- 東京芝浦電気株式会社 (1963), 『東京芝浦電気株式会社八十五年史』同社。
- 登内英夫 (1994), 『私の歩いた道—企業経営と地方政治に賭けたわが半生—』銀河書房。
- 中島裕喜 (2019), 『日本の電子部品産業—国際競争優位を生み出したもの—』名古屋大学出版会。
- 永瀬邦男 (1948), 「電解 Etching の実験」『電解蓄電器評論』2(7)：53-54。
- 永田伊佐也 (1951), 「最近の電解コンデンサー」『ラジオ技術』5(3)：78-81。
- 永田伊佐也 (1952), 「電解蓄電器の構造」『ラジオ電化新聞』19521214：6。
- 永田伊佐也 (1953), 「石田氏を惜む」『電解蓄電器評論』7(1)：3-4。
- 永田伊佐也 (1977), 「電解蓄電器研究会と 30 年」『電解蓄電器評論』31(1)：11-12。
- 永田伊佐也 (1983), 『電解液陰極アルミニウム電解コンデンサ』日本蓄電器工業株式会社。
- 日本ケミコン株式会社 (1982), 『日本ケミコン 50 年史』同社。
- 日本放送協会編 (1951), 『日本放送史』日本放送協会。
- 日本放送協会技術研究所編 (1961), 『三十年史』同協会。
- 日本放送協会技術研究所部品研究室 (1955), 「外国製電解蓄電器試験成績」『電解蓄電器評論』9(3)：1-73。
- 平本厚 (1994), 『日本のテレビ産業—競争優位の構造—』ミネルヴァ書房。
- 平本厚 (2000), 「日本における電子部品産業の形成」東北大学『研究年報・経済学』61(4)：21-39。
- 平本厚 (2010), 『戦前日本のエレクトロニクス—ラジオ産業のダイナミクス—』ミネルヴァ書房。
- 平本厚編著 (2014), 『日本におけるイノベーション・システムとしての共同研究開発はいかに生れたか—組織間連携の歴史分析—』ミネルヴァ

- 書房。
- 広瀬相 (1958), 「汎用モータルの歩み」『日立評論』40(11): 75-80。
- 藤井達司 (1954), 「最近に於ける電解コンデンサの進歩」『東芝レビュー』9(3): 231-235。
- 松下電器産業株式会社技術本部 (1968), 『松下電器の技術 50 年史』同本部。
- マルコン電子株式会社編 (1972), 『わが社のあゆみ—30 年史』同社。
- 宮田聡 (1972), 「わが国電解蓄電器技術成長の思い出」マルコン電子 1972: 12-13。
- 望月義康・関屋喜代彦 (1947), 「電解蓄電器に於ける湿気の影響 (1)」『電解蓄電器研究会会報』第 2 報: 41-47。
- 百合野豊二・渡邊二郎 (1949), 「電解蓄電器の試験の概況」『通研月報』2(8・9): 405-424。
- ルビコン社史編集委員会編 (2005), 『ルビコン 50 年のあゆみ』同社。
- 渡部英雄 (1943), 「最近に於ける電解蓄電器の進歩 (1)」『電波日本』36(3): 13-16。
- Edquist, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London: Pinter.
- Edquist, C. (2005), 'Systems of Innovation: Perspectives and Challenges'. In Fagerberg, J., Mowery, D.C. and Nelson, R.R. (eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 181-208.
- Freeman, C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London and New York: Pinter. (大野喜久之輔監訳, 新田光重訳『技術政策と経済パフォーマンス: 日本の教訓』晃洋書房, 1989 年)
- Lundvall, B. (1992), *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London and New York: Pinter.
- Malerba, F. (ed.) (2004), *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nelson, R. R. (ed.) (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. New York and Oxford: Oxford University Press.

[付記] 本論文は科学研究費助成金 (課題番号: 18K01717) による研究成果である。