

明治・大正時代のイノベーション：その独創技術と産業応用

— 旧工業技術院の研究（無線通信とアンモニア合成）を例として —

小林直人^{1*}、亀山哲也²

この論説では、我が国の明治・大正時代の産業勃興期における旧通商産業省工業技術院研究所の前身の研究所群の役割を概観し、組織的な技術導入と実証、独創技術の研究開発、産業育成・振興の面から、その成果を紹介する。その例として、(1) 電気試験所における無線電信、および(2) 東京工業試験所におけるアンモニア合成、の研究開発を取り上げた。

イギリスで18世紀末に起きた産業革命は紡績機、硫酸等の製造技術の革新にあった。19世紀中頃から20世紀初めにはドイツ、アメリカを中心に電信電話機、アンモニア合成等で技術革新が達成された。それに対して我が国の産業革命は19世紀末（明治中期）から20世紀初頭（大正初期）にかけて起こったとされるが、その間の技術導入に加えて電気試験所におけるTYK型無線電話の発明や、東京工業試験所における「東工試法」というアンモニア合成法における新触媒開発等の独創的技術が創出されている。

一方、産業振興の面では、初期無線研究において技術が海軍に移されて研究開発が行われ、その後それらの技術が企業に引き継がれ我が国初の無線通信機製造会社が成立したこと、「東工試法」によるアンモニア合成技術が企業における国産初の硫酸製造の成功に大きく貢献したことは大きな特徴である。

このように我が国においては極めて早い時期に、技術導入に加えて独自技術開発やその産業応用が行われていたことは注目値する。またこの論説では、これらの例をベースに、それ以降引続く我が国の国立試験研究所の産業上の役割についても言及する。

キーワード：無線通信、アンモニア合成、電気試験所、東京工業試験所、イノベーション

Innovation in Meiji and Taisho eras: Original Works and Industrial Application

—R&D of Wireless Communication and Ammonia Synthesis in old AIST—

KOBAYASHI Naoto^{1*} and KAMEYAMA Tetsuya²

This paper shows an overview of the role of the national research institutes, which later belonged to the old AIST (Agency of Industrial Science and Technology), MITI (Ministry of International Trade and Industry) during the rising period of industry in Japan in Meiji and Taisho eras, and demonstrates the results of systematic introduction and realization of technology, research and development (R&D) of original technology, and its industrial application.

We introduce (1) wireless communication in Electrotechnical Laboratory and (2) new catalyst for the ammonia synthesis in Governmental Chemical Industrial Research Institute, Tokyo.

The industrial revolution that took place in the late 18th century in UK was mainly due to innovations in manufacturing technology such as spinning machines and sulfuric acid. In the middle of the 19th and early 20th centuries, technological innovation was achieved in telegraph and telephones and in ammonia synthesis, mainly in Germany and the United States. In contrast, in the period of industrial revolution in Japan, which has occurred from the end of the 19th century (middle Meiji era) to the beginning of 20th century (early Taisho era), Japan has already created its own original technologies. The inventions of the TYK-type wireless telephone in Electrotechnical Laboratory and of a new catalyst in the ammonia synthesis by the “Tokoshi-method” are good examples.

For the industrial application and realization, the results of R&D of the initial wireless research were transferred to the Navy and then R&D was carried out by a private company. The ammonia synthesis technology by the “Tokoshi-method” has led the first domestically produced ammonium sulfate in a private company.

It is noteworthy that in Japan, in addition to the introduction of technology, effective original technology development and its industrial application were carried out in very early period. The role of national institute for industrial application is also discussed in this paper.

Keywords : wireless communication, ammonia synthesis, Electrotechnical Laboratory, Governmental Chemical Industrial Research Institute, Tokyo, innovation

1 はじめに

1882年（明治15年）創立の地質調査所に始まる旧通商産業省工業技術院研究所群は、2001年（平成13年）

に独立行政法人・産業技術総合研究所（現在は国立研究開発法人）に統合されたが、国立試験研究所として我が国全体や地域の産業振興のために大きな役割を果たしてきた

1 早稲田大学 〒162-0041 東京都新宿区早稲田鶴巻町 513、2 産業技術総合研究所 〒463-0008 名古屋市守山区小幡北 2310
1. Waseda University 513 Tsurumaki-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0041, Japan *E-mail: naoto.kobayashi@waseda.jp, 2. AIST 2310 Obatakit, Moriyama-ku, Nagoya 463-0008, Japan

Original manuscript received February 28, 2020, Revisions received May 26, 2020, Accepted July 7, 2020

(4) 電報送受の正否および電報料収納の可否調査に関すること、であった^[4]。その後、電気・電力の学術的研究の意義が明確化され、行政監督、行政事務等は、これを所掌する別の行政機関に順次引き継がれ、電気試験所は電気に関する純粹の試験研究機関として、高度化する電気技術関連の研究に力を尽くすこととなった。

さらにその後、我が国の電気通信並びに電力事業は大きな発展を遂げ^{[2]-[4]}、我が国の産業革命の進行とともに、電気試験所はその主力を電信、電気、電力に関する研究業務に移し、幅広い産業振興に資する研究開発を行うこととなった。

図2に電気試験所のその後の組織の変遷を示すが、第2次世界大戦後には二つに分割され、電気・電子技術を研究する電気試験所は商工省工業技術庁から通商産業省工業技術院に管轄が移り、1970年（昭和45年）には電子技術総合研究所と名称を変えている。一方、電気通信の分野は逓信省および電気通信省管轄下から、その後日本電信電話公社（現NTT）の電気通信研究所となった。またその一部は郵政省電波研究所となり現在の国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）となっている。このように電気試験所は明治から第2次世界大戦終了後まで我が国の電気・電子・通信に関する研究開発の中心的役割を果たしていたことが分かる^[7]。

3.2 無線通信研究^{[4]-[15]}

3.2.1 我が国で初めての無線通信

電気試験所が1891年（明治24年）8月16日に設立された時、初代所長は少壮33歳の浅野應輔（1859年～1940年）であった。浅野は1881年に工部大学校電気科を卒業後、同年工部大学校教官（教授補）となり、その後東京電信学校教授兼幹事を経て電気試験所に奉職した（在任期間1891年～1914年）^[8]。

当時、我が国における電気事業として1869年（明治2年）

に東京～横浜間に電信が開通し、初の電報取り扱いは開始（日本の電信創業）されており、1890年（明治23年）には東京・横浜で電話開通（日本の電話創業）がされている。このように電気試験所が創設された時は、我が国において漸く電信・電話が実用期に入り逐次拡張されつつあった時であった^[3]。

浅野所長は在任中試験所内での研究を重視し、所内に電気試験所研究会を始める等所員に研究を広く奨励するとともに、国産技術の進歩確立を目指した^[8]。当時欧米諸国においては電信電話の進歩が著しく、彼は1894年から翌年にかけて電気事業調査のため欧米各国を視察したが、その際に我が国で最初に大西洋横断海底電信線敷設事業に参加した。彼の業績の中で際立つ一つが、この時の経験を活かして九州大隅～台湾間（約1400km）の海底電信線の工事設計・敷設を行い、1897年に竣工に成功したことである。またより大きな業績は同年、以下に述べる日本最初の無線電信実験の成功である。それに続いて1903年水銀検波器の発明、電気単位の制定、等多くの業績を残している。このように浅野は我が国が電気・電信の技術開発の初期にあつて優れた研究者でありまた卓越した指導者であった^[8]。

1895年にイタリアのグリエルモ・マルコーニ（1874年～1937年）は世界で初めて無線電信に成功したが、その報告を記した外国雑誌（ロンドン・エレクトリシアン）が1897年に電気試験所に届くと、浅野所長はその意義を重視し同年7月に早速電信係主任の松代松之助（1866年～1948年）に無線電信の調査および研究を命じた。これは当時欧米の諸大国が、いずれもその試験成績に疑問を抱いていた中での慧眼であった。

松代は実験用部品をすべて自作する等難問を独自に克服しながら研究を進めた。最初に取り上げた問題はコヒーラーの研究であったが、これは数ヶ月で解決することが出

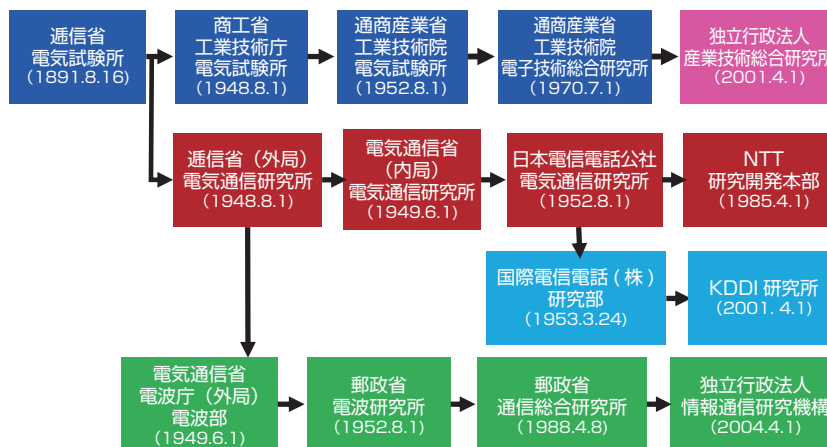


図2 電気試験所の組織の変遷^[7]

来た。コヒーラーとは金属粉末に高周波が到来すると電気抵抗が減って直流電流が流れる現象を利用した電磁波検出装置である。そしてマルコーニの無線電信成功のわずか2年後の1897年12月に、東京の月島海岸と金杉沖の船舶間約1.8 kmの距離の無線通信を成功させた^{[4][10]}（図5参照）。翌年5月には電気試験所構内に空中線を建設し、これによって十分通信ができるまでに進歩した。また同年月島と第五台場との間3.4 kmの実験に成功している^{[8][10]}。



図3 電気試験所初代所長 浅野應輔^[8]



図4 松代松之助^[9]

この技術は1898年に海軍の知る事となり、英国のマルコーニ会社への高額なロイヤリティー支払いを回避するための国産技術の確立を目的として、松代松之助ら数名が海軍における無線研究に関与することとなった。この受け継がれた技術により、34式無線電信機（1901年（明治34年）（明治34年に生まれたためこの名がある）、36式無線電信機（1903年（明治36年））等の实用無線機が生み出された。1903年には長崎～台湾間の長距離無線通信試験も実施された。

1904年には我が国の全軍艦に無線装置が装備され、翌1905年5月27日の日本海海戦の際、哨艦信濃丸が「敵艦見ゆ」を発信したことは有名である（図6参照）。なおこの海軍36式無線機は1904年に安中電機製作所（現アンリツ（株））が製作したものである^[12]。

なお、松代らが1899年に海軍の囑託となって電気試験所を去ってからは、無線通信研究は佐伯美津留に引き継がれ、送受信機の改良と通信距離の拡大が図られた^[11]。1908年には我が国最初の商用無線基地である銚子無線電信局が開局している。また佐伯は1907年に磁石鉄粉検波器を発明し、1913年には瞬滅火花式と言う通信省式無線電信方式を発明し、これは1913年に安中電機製作所によって製作された^[12]。

これらの浅野・松代・佐伯らによる無線電信実験の特徴は、(1) 当初から全く自らの手で短期間に装置をくみ上げ基礎的実験を実施したこと、(2) 僅かな期間で軍用に实用

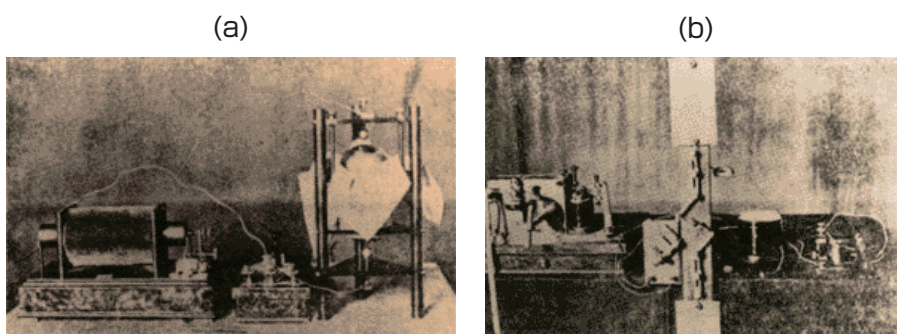


図5 松代松之助が使用した無線電信装置（(a)が送信機、(b)が受信機^[11]）

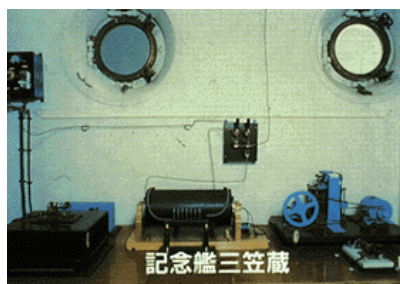


図6 我が国の初の無線電信機。電気試験所と当時の海軍が協力して開発し日本海海戦でも使用された^[9]。

化したこと、(3) その後商用化へ自主技術を継承・発展したこと、(4) 国際的発信力の確保、とされている^[10]。特に独自に短期間で技術開発を達成したことは、その後の自主技術開発の端緒を作ったもので、浅野所長の狙いにも大いに合致するものであった^[8]。松代は後年、「明治 22 年に世界に先駆けて後の搬送式通信法に相当する多重通信の提唱を電気学会誌で提唱したこと」や、「明治 25 年頃まではいわゆる模倣の時代であったが、それ以降は多少なりとも「オリジナリティー」を出すようになり、電気試験所がその主役を勤めた」と述べ、当時の研究上の独創性発揮の経緯を述べている^[4]。

3.2.2 世界初の無線電話

20 世紀初頭の無線通信においては減衰火花方式が通信方式の主流となっていたため、高周波電波の振幅に持続性を持たせることができず、無線電話は不可能とされていた。1906 年（明治 39 年）にベルリンの第 1 回国際無線電信会議に出席した浅野所長は、無線電話の研究の必要性を感じて電気試験所内で持続電波発生法の研究を命じた。

そこで鳥潟右一（1883 年～1923 年、第 3 代電気試験所所長（在任 1920 年～1923 年））は、横山英太郎、北村政治郎とともに火花発振法による「TYK 式無線電話器」（図 7、図 8）を発明した（1912 年）^{[10][13]}。

ここで使用された火花発振法は、鳥潟らが発明した独創的なもので、直流電圧で蓄電池を充電し 1 秒間に 2～5 万回の割合で放電させ持続波を発生する方式であった。図 7 には、1912 年 6 月登録の特許第 22347 号「振動放電間隙」の TYK 型無線の回路図を示す。例示として陽極に銅、陰極に磁鉄鉍を使用した振動放電間隙 Q で火花が発生され、M の自動調整起動装置で間隙距離を調整する方式となっている。鳥潟はそれ以前に「斑銅鉍と紅垂鉛鉍」を摘出し、それを使用した「鉍石検波器」および「タンタラム検波器」を発明している。TYK 式無線電話器ではこの両者の検波器が受信器として使用され実用に供された。

最初の通話試験は 1912 年（明治 45 年）5 月 23 日、木

挽町の電気試験所と芝の通信省官吏練習所との約 1.5 km の距離で行われた。また同年、東京湾内の海底敷設船沖繩丸～電気試験所、東京～横浜通信省経理局倉庫、横浜倉庫～第 3 飛鴻丸の間でも通信実験が行われた。鳥潟は 1912 年の TYK 式無線電話器の発明後、同年 6 月 3 日に交詢社で公開実験を行った際次のように述べている。「先づ持続電波の研究に歩を進めたるも未だ理想通りの電波を起すに至らざりしが、今より三四ヶ月前に至り或元素の或は或金属を電極として接近せしめて火花を起さしむるときは一定したる持続電波が起こることを発見し実験に実験を重ねたる結果漸く成功。僅かに十分の一馬力の電力にて二十海里余の距離に於て完全に通話し得る迄の成功に至り去月十五日特許の査定を得たり。（中略）余は一昨年の海外留学に於て又専門誌上に於て得たる見聞に依り無線電話が未だ世界孰れの国においても実用せられずと断言するに躊躇せず。（中略）此発明に依り将来無線電話が活用せらるるようになれば研究の局に当たつ吾々一同は無上の幸福を感じる次第であります。」^[14]

1913 年には、この電話機は神戸・大阪・門司の各港で公開中の船舶と通話試験をして、50 海里以上の通話に成功している。これは世界で無線電話を実用化した最初のものであった。この発明および実証は世界各国からも「異常な関心」を持って注目され、1914 年には英国のマルコーニ社で公開実験が行われた。それは、当時の無線技術のリーダーであったマルコーニ社においても実用に値する無線電話装置が実現されていなかったことを示している^[10]。

さらにこの技術は英国、米国、ドイツ、フランス等の外国特許を取得しただけでなく、鳥潟らは欧米各地で立会実験を行い、我が国技術の海外紹介に貢献するとともに世界各国から大きな注目を集めることとなった^[10]。さらに 1916 年（大正 5 年）には、三重県の鳥羽～神島～答志島間で

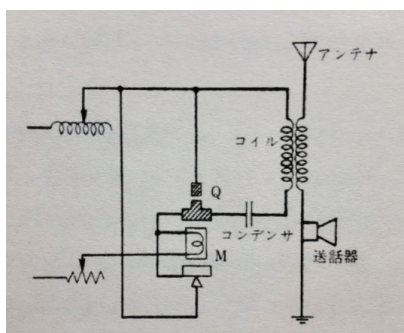


図 7 特許第 22347 号「振動放電間隙」の TYK 型無線の回路図（1912（明治 45）年 6 月登録）^[10]



図 8 TYK 型無線電話（郵政博物館）^[15]

我が国最初の無線電話が商用化されるが、これも安中電機製作所の製作によるTYK式無線電話器によるものであった^[12]。

なお、その後鳥潟らは電話線路に高周波を通ずる多重無線電話（無線式有線電話）の開発（1917年）、無線電話同時送受方式の世界初めての成功（1917年）、電力線搬送の実施（1918年）等、我が国の無線通信分野における多彩な成果をあげている。

また、その後真空管が有線電話において利用されるようになったが、鳥潟らはTYK放電間隙を適当な真空度を持つ希薄ガス中で動作させると動作が安定な整一振動電流が発生することを発見した。一方で、電気試験所では独自に真空管の研究開発を進め、その後1917年には真空管式同時送受無線電話の開発に成功している。

電気試験所時代、鳥潟の部下であった丸毛登は、鳥潟の業績を7つに要約している。すなわち(1) 鉱石検波器の発明、(2) TYK無線電話、(3) 有線無線電話接続、(4) 搬送電話の発明、(5) 電力線搬送電話の実用化、(6) 真空管の研究、(7) 放送無線電話への寄与、である^{[10][13]}。このように鳥潟はTYK無線電話の発明だけでなく、多彩な研究成果を挙げていることがわかる。

ただし鳥潟らの発明によるTYK無線電話は長期の隆盛になりえず、その後は真空管式無線電話に転換していくことになった。TYK無線電話の成功のために電気試験所における真空管研究への対応の遅れがあったとも考えられ、技術の流れを見る時機の困難さを物語っているとも言えよう^[10]。

以上、電気試験所における無線通信、無線電話の研究を紹介したが、この成果の背後には優れた時代感覚を持った浅野應輔と言うリーダーと、松代松之助、佐伯美津留、鳥潟右一ら優秀な研究者がいたことが、短期間での極めて高い研究成果に繋がっていると見えよう。松代の場合は、



図9 「無線と実験」第1巻第3号の表紙に使われた鳥潟右一の肖像^[13]。

外国での研究成果の検証その実用化が大きな業績であるが、鳥潟の場合は当初から独創的な研究成果を挙げている。当時の電気試験所の研究環境は必ずしも恵まれたものとは言えなかったと思われるが、その創設初期にこれらの優れた成果が上がったことは注目に値する。

4 東京工業試験所の明治・大正期の概要と注目すべき成果

4.1 概要^{[16]-[18]}

東京工業試験所（東工試）の前身である工業試験所は、1900年（明治33年）に我が国の化学工業の進歩発達を図ることを目的として設立された。当初は一般化学分析試験・鑑定（1部）、化学工業に関する試験・研究（2部）が所掌業務であったが、後に窯業に関する試験・研究（3部）、色染に関する試験・研究（4部）が追加された。20世紀になって電気化学工業が欧米諸国で飛躍的に発展したが、その当時我が国には豊富な電力があったため電気化学工業は我が国に最も適した工業と位置づけられ、東京工業試験所に第5部を増設してこの試験研究を所掌することになった。

その後、食糧増産の観点から窒素利用が産業上の大きな課題となったため次節に述べる臨時窒素研究所でアンモニア合成等の試験研究を進めた。その後、それを受け継ぎ第6部で高圧化学工業の業務を行うこととなった。このように東京工業試験所は当時の国内外における化学工業の激しい動きに対応して業務を拡大してきた。

図10に東京工業試験所の組織の変遷を示すが、戦後1979年（昭和54年）に化学技術研究所となり、1993年（平成5年）には当時の繊維高分子材料研究所、製品科学研究所とともに物質工学工業技術研究所となった。

4.2 臨時窒素研究所によるアンモニア高圧合成技術の開発

化学の分野でも20世紀の初頭から日本は欧米の技術を導入するとともに国産技術を開発し、先進諸国の仲間入りを果たし、欧米を追い抜く技術も数多く開発してきた。日本が現在の技術力を獲得した原点は20世紀の初頭、国立の臨時窒素研究所（後に東京工業試験所に吸収）が日本初の大型プロジェクト方式でアンモニア高圧合成技術を開発し、昭和肥料で工業化されたことにある。以下では臨時窒素研究所が開発したアンモニア高圧合成技術および昭和肥料による工業化を達成した技術革新の特徴を述べる。

4.2.1 臨時窒素研究所の設立^{[16]-[26]}

20世紀の初頭、ヨーロッパでは産業革命後の人口急増にともなう食糧増産のため、空中窒素固定法によるアンモニアの合成および硫酸の製造が最大の関心事であった。ドイツのフリッツ・ハーバー（1868年～1934年）等が、1913年

表1 臨時窒素研究所の大正8年度研究項目並びに担当職員^[24]

研究項目	技師	技手	囑託
アンモニア合成に関する研究			
ハーバー法の研究	横山武一 黒田修三	徳岡松雄	
触媒剤の研究	柴田勝太郎		片山正夫
爆発に関する研究	阿野建虎		朽木綱貞
特殊窒素化合物製造研究	北脇市太郎		
敵國特許発明実施に関する研究		春田能為	
硫酸合成に関する研究			
オストワルド法による硝酸製造の研究	森殿五郎	村山力蔵 長井 済	
原料及び装置材料に関する研究			
水素及び窒素製造方法に関する研究	内田嘉吉		
機械装置に関する研究	後藤 尚		加茂正雄 春山敏郎
合金に関する研究		佐藤貞造	本多光太郎 野附雄次郎
(注)大正9年3月31日現在の担当職員を表わす。			
(出所)「職員業務分担事項表：大正9年臨時窒素研究所経費増加概算書参考書類（大正8年6月調製）」並びに「人事二関スル書類綴」より作成。			

最初に高圧法アンモニア合成技術を開発し、この課題に応じた。アンモニアは肥料のみならず、爆薬、染料、医薬品の原料として極めて重要であった^[18]。

日本においても第1次世界大戦後に予想される国際的な経済競争に打ち勝つためには化学工業を振興させる必要があるとの観点から、国策としてのハーバー法によるアンモニア合成および、オストワルド法による硝酸合成技術の開発を目的として臨時窒素研究所が1918年（大正7年）に設立された^[18]。

最初は学術的小規模実験から始めて日本特有の方法を見出すことを目標に、工業所有権戦時法により専用が許される予定の敵国特許（ハーバー等の特許）の内容に関する研究を実施し、その後中規模実験に移り、アンモニアは月産0.5

t、硝酸は月産2tを製造し、成果の企業化を検討するとした。

4.2.2 研究の展開

1919年（大正8年）から本格的に基礎研究および小規模実験が開始された。ハーバー法の研究は横山武一、触媒の研究は柴田勝太郎が中心であった。高圧装置の研究は陸軍の後藤尚が担当した。高圧用化学機械の製造技術は民間では未発達であり、かつ国防にも関することから、当該プロジェクトでは民間からの参加は無かった。また、研究の推進に関する意見等を聞くため、東北帝大の片山正夫、本多光太郎、東京帝大の加茂正雄等の教授陣を招聘している。我が国初の大型プロジェクトは官学軍体制で実施された（表1参照）。

小規模実験ではハーバーの学術論文や特許を参考にし

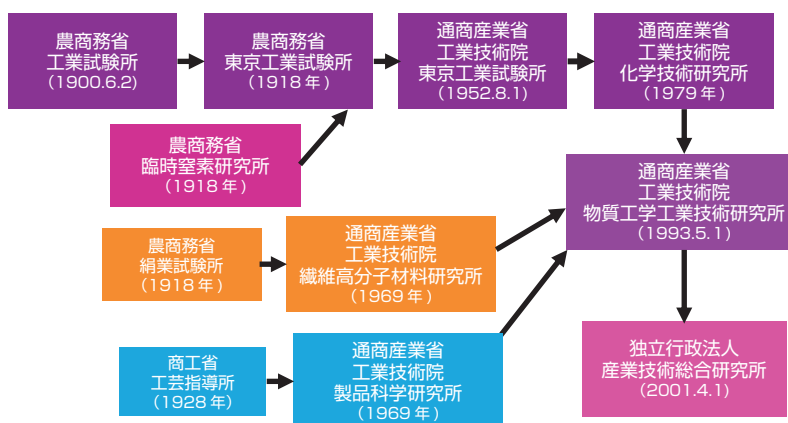


図10 東京工業試験所の組織の変遷

た。触媒は酸化鉄 (Fe_3O_4) に 2～6 % の酸化アルミニウムと 0.2～0.6 % の酸化カリウムを加えた 2 重促進触媒が優れていること、合成管は 200 気圧、500～600℃で水素脆性が発生しない構造 (図 11) になっているとの情報をベースに、実験室レベルの高圧合成管 (図 12) を試作した。上段の触媒充填室 (外径 13.5 cm、高さ 63 cm) と下段の熱交換室 (外径 10.5 cm、高さ 77.1 cm) を一体として連結したもので、いずれも市販の丸棒の鋼材の内部を削りだしたものである。1924 年頃には研究途上の純鉄触媒を用い、200 気圧、580℃で 1 日当たり 2 kg のアンモニアを連続して合成することが可能となった。

中規模実験では工業化用高圧合成装置の整備並びにアンモニア合成用工業触媒の開発が課題であった。当時、水

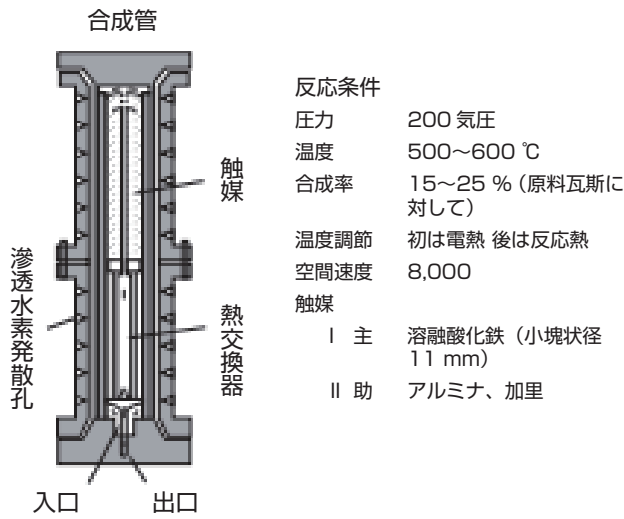


図 11 ハーバー法合成管の構造 (アンモニア 10 t/日)^[24]

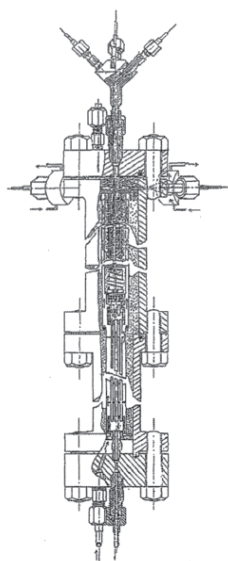


図 12 小規模試験用アンモニア合成管^[24]
(注) 上半：触媒充填室 (高さ 63 cm、外径 13.5 cm) 下半：熱交換室 (高さ 77.1 cm、外径 10.5 cm)

素、窒素等の原料製造装置、ガス圧縮機等を製造する技術は国内では育ってなく、横山等が中心となって外国から装置を導入した。

窒素製造装置は 1922 年 (大正 11 年) にドイツのリンデ社から輸入した。純度 99.5 % の窒素を 1 時間当たり 40 m³ 製造することができる (図 13)。合成アンモニアの価格に占める原料ガスの割合が約 6 割を占め、しかもその大部分を水素ガスが占めることから、水素をいかに廉価に製造するかが重要な課題であった。当時、余剰電力の利用、高純度の水素が得られる等の利点からアメリカのエレクトロラボ社の電解水素製造装置 (図 14) を輸入した。1 槽あたり 0.1 m³/時、100 槽全体では 11 m³/時の水素を製造した。

唯一の国産品は日本製鋼所のアンモニア合成管、および混合ガス貯蔵用の水素貯蔵器であった。合成管は長さ 3 m、2 m、1 m の各 1 本で、外径 38 cm、内径 24 cm の同一径で、材質はニッケル・クロム鋼製、300 気圧、500℃までの高温高圧下で使用することができた (図 15)。

ハーバーが 1924 年 (大正 13 年) に星一 (星薬品の社長) の招待でかつてハーバーの元で研究を行っていた田丸節郎

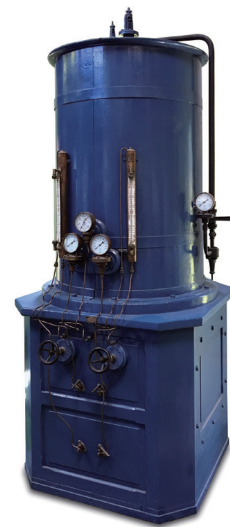


図 13 リンデ式空気液化分留器^[24]

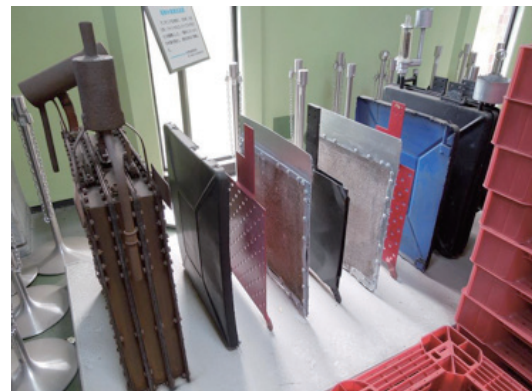


図 14 電解水素発生装置

(1879年～1944年)とともに東京工業試験所を訪れていたことは、研究者にとって大きな励みになったと思われる。中規模試験での最大の課題は安くて活性の高い触媒の開発であった。柴田らはほとんど廃物に等しい製鉄所のスケール（空气中で熱した鉄の表面にできる FeO 、 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 等の酸化物）を原料に、促進剤の種類、量、酸化鉄の酸化度の程度等製造の諸条件を異にする多数の触媒を作り、1925年には安くて強力で耐久性に優れたアンモニア合成用工業触媒の開発に成功した。柴田勝太郎および荘司信守の発明「アンモニア合成用接触剤の製造法、番号:79899」として1929年（昭和4年）に登録されている。この触媒の開発こそが、日本の化学工業史において「東工試法」アンモニア合成技術として高く評価される所以である。実際に使用された触媒は官営八幡製鉄所のスケール（ Fe_3O_4 ）に Al_2O_3 （4～5%）、 K_2O （0～4%）を混ぜて熔融し、細かく砕いてふるいわけたもの（5～8mm）であった（図16）。

この触媒を中規模実験用アンモニア合成管（長さ3m、外径38cm、内径24cm）の触媒充填室に入れ、500℃、



図15 アンモニア合成管



図16 アンモニア合成触媒

200気圧、空間速度30,000/h（触媒1リットル当り1時間に通過した原料ガスの量を標準状態に換算したリットル数）の条件で13%のアンモニアを30kg/h合成することに成功した。1日約700kgのアンモニアを合成し、いわゆる「日産0.5t計画」を見事に達成した。

このような中、1925年に国会で「臨時窒素研究所に対し多額の研究費を支出しているが、肥料の生産には至っていない。外国技術を導入して肥料を生産し始めた国内企業への補助金として使った方がよいのでは」という厳しい意見があったが、政府委員は外国技術より優れた方法を開発しつつあり、その成功も近いということでその場を切り抜けた。

4.3 昭和肥料による東工試法アンモニア合成の企業化

昭和肥料（1928年（昭和3年）設立、1939年に日本電気工業と合併し昭和電工となる）は1929年、臨時窒素研究所（1928年に東京工業試験所に吸収）が開発した方法、つまり同所が東京工業試験所（東工試）に吸収されたことから「東工試法」と言われたアンモニア合成を企業化することを決定した。同年、東京工業試験所はアンモニア合成に関する研究業績並びに6件の特許の使用を無料で昭和肥料に許可した。その上、9月には企業化を円滑に実施するために横山武一と中村健次郎が同社に入社した。

「国産の技術でアンモニアができれば首をやる」という他社の批判の中にあって、昭和肥料は臨時窒素研究所の技術を使って日産120tのアンモニアの製造に着手した。高圧機械装置類のうち、外国製のはリンデ式窒素製造装置のみであり、その他の装置はいずれも日本製であった。臨時窒素研究所で使用された中規模実験用の輸入装置を参考にして民間で製造された。水素製造用の電解槽は日立製作所で製造された（図17）。日立の稼ぎ頭の製品であった。高圧ガス循環機は東京石川島造船所および神戸製鋼所から購入した。

臨時窒素研究所が開発したアンモニア合成触媒（合成磁鉄鉱92～95%、アルミナ4～5%、酸化カリウム～4

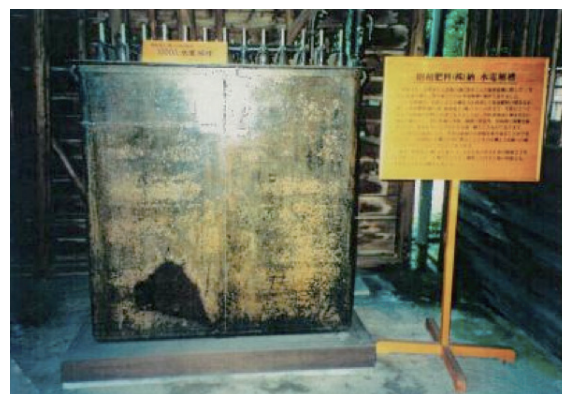


図17 水電解槽

表2 アンモニア合成方式の分類と国産化アンモニア合成方式の分類と国産化

	方式	圧力	温度	合成管 出口 NH ₃ 濃度 (%)	会社名		工場 所在地	生産 開始年月	硫安 (万t/年)
					設立時	現在			
低圧法	モンスニー・ウーデ法 (ドイツ)	90~ 150	400~ 500	8~12	矢作工業	東亜合成 化学	愛知県 名古屋	1933.12	4
中圧法	ハーバー・ボッシュ法 (ドイツ)	200~ 350	500	10~15	日本タール	三菱化学	福岡県 黒崎	1937.9	8
	NEC 法 (アメリカ)	200~ 350	500	10~15	住友肥料	住友化学	愛媛県 新居浜	1931.4	3
	東工試法 (日本)	200~ 300	500	10~15	昭和肥料	昭和電工	神奈川県 川崎	1931.3	15
	ファウザー法 (イタリア)	200~ 300	500	10~16	大日本人造 肥料	日産化学	富山県 速星	1928.3	3
高圧法	カザレー法 (イタリア)	600~ 800	500	20	日本窒素肥料	旭化成	宮城県 延岡	1923.10	1
	クロード法 (フランス)	900~ 1000	500~ 650	25	クロード窒素	三井化学	山口県 彦島	1924.10	1

%) 1900 kg を高さ 14 m、外径 1 m の合成炉に充填し、温度 500 °C、圧力 300 気圧、空間速度 20,000 ~ 30,000/h の条件で 10 % 濃度のアンモニアを合成し、1931 年には日産 120 t (1 基当り 20 t、6 基) のアンモニア製造に成功した。当時、各社が競って外国技術を導入し、外国技術の博覧会的様相を呈していた状況(表 2) にあって、昭和肥料が東工試法による国産技術でアンモニア合成を実現し、しかもその規模が最大(硫安年産 15 万 t)であったことは、日本の近代化学技術の外国からの自立を示すものとして極めて意義深いものであった。

外国技術の導入が主流であった 20 世紀初頭の日本にあって、臨時窒素研究所が開発した「東工試法」アンモニア合成の企業化は我が国の近代化学技術の外国からの離脱、および国産技術に対する自信を与えた。1940 年(昭和 15 年)には昭和肥料は世界第 1 位の硫安生産量を達成し、国内シェアも 20 % を占めていた。昭和 18 年までに東京工業試験所に納入された特許使用料は 58 万円とかなりの高額に達した。「東工試法」アンモニア合成技術は見事に企業化されたのである。

また、第 2 次世界大戦後の食糧増産に必要な大量の硫安肥料を緊急に生産するため、商工省の指導により、東京工業試験所の内田熙らが新たに開発した鉄-カーボニルを主原料とする高活性アンモニア合成触媒を昭和電工および東亜合成化学が使用することでその目的を達成した(図 18)。なお、図中の日新化学は現住友化学、三菱化成は現三菱化学、東洋高圧は現三井化学、また I.G. はドイツの BASF 等の連合企業体である。

臨時窒素研究所における主要な研究テーマであった硝酸合成技術については白金触媒を用いたアンモニアの酸化研究を行い、平均酸化率 93 % を達成し、日本窒素肥料を初め、陸軍省、昭和電工で工業化された。また、アンモニア

合成用水素製造技術に関連したメタノール合成技術の開発は柴田勝太郎が行い、Zn-Cr 触媒を用い、50 ~ 100 気圧でのメタノール合成に 1920 年に成功した。三井鉱山等が実施権を得て、合成工業でメタノールの生産を開始し、海外からの輸入を駆逐した。その後、東洋高圧が本格生産を行い、世界のトップ技術として海外にも輸出された。

臨時窒素研究所で活躍した研究者たちはその後、企業のトップ、大学の教授および学長、研究所のトップとして転出し、技術革新の基礎から応用にわたり推進した(表 3)。

臨時窒素研究所・東京工業試験所は 20 世紀の初期以降、世界的にも優れた工業用触媒および高圧合成技術の開発を通じて産業化を推進することで日本の近代化学工業創出を主導してきたと言える。

5 考察

旧工業技術院に連なる試験研究所は、その設立時からその当時我が国が重要視する産業の創出・振興に資する検査検定、試験、行政監督・事務等を主たる業務としてい

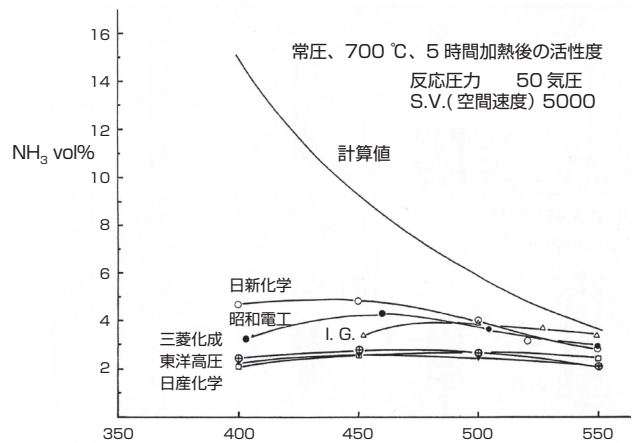


図 18 各社の触媒活性度^[21]

表3 臨時窒素研究所時代の主要職員の転出先¹²⁴⁾

役職名	氏名	廃所後
所長	小寺 房治郎	第三代東京工業試験所長
第一部長	○森 殿五郎	死亡
第二部長	○内田 嘉吉	東京瓦斯
第一・二部長	北脇 市太郎	第四代東京工業試験所長
主要研究題目あるいは担当		
アンモニア合成メタノール合成の触媒研究	柴田 勝太郎	合成工業常務・東庄社長
〃	荘司 信守	三菱化成常務
アンモニア合成の試験研究	横山 武一	昭和電工常務
〃	中村 健次郎	〃
アンモニア酸化による硝酸（白金触媒）	○森 殿五郎	前掲
〃	○村山 力蔵	旭化成取締役
〃（鉄・蒼鉛）	内田 俊一	東工大学長・相模中研所長
〃（コバルト）	佐々木 一雄	山形大教授
尿素の研究	徳岡 松雄	台北大・名古屋大教授
〃	○渡部 尚一	朝日石綿取締役
尿素ベンゾール合成	折戸 勇	信越化学取締役
アーク法硝酸	北脇 市太郎	前掲
〃	岡崎 直喜	満州軽金属理事
〃	山村 義次	日本カーバイド
水素製造	金城 紀典	満州軽金属
窒化物（セルベック法）	○黒田 修三	満州マグネシウム
〃	○香田 能為	探偵作家（甲賀三郎）
活性化窒素	堀 義路	北大教授
一酸化炭素転化触媒	木下 龍夫	探偵作家（大下宇陀児）
〃	吉村 倫之助	満鉄中研次長
石膏法硫酸	堀 省一朗	満州化学・東北大教授
硫酸結晶	高原 守喜	味の素重役
金属材料	山内 淑人	藤永田造船重役・京大教授
高圧機械	○武田 晴爾	内務省災害予防研所長
新ルブラン法	篠崎 平馬	山形大学長
メタノール合成	島 五郎	第七代東京工業試験所長
〃	鈴木 為吉	陸軍技師
〃	山本 明光	東洋高圧
硫酸硝酸の製法	高木 外次	保土ヶ谷書達重役・山形大教授

(注)○印の人は廃所前に転出、その他の人は東京工業試験所第六部に勤め、その後転出。
 (出所) 安達龍作「尿素肥料をひらく―柴田勝太郎の道」化学技術同友会 p.165(1969) 並びに「東京工業試験所五十年史」東京工業試験所 p.647 (1951) より作成。

たが、その一方で研究開発を行うことによって世界に伍する産業の興隆さらには世界をリードしうる新産業創出への貢献が望まれて来た。上記の事例は正にその後者に関連する極めて相応しい例であると言えよう。この章では明治～大正期の産業状況を概観したのち、早期に設立され現在までも連続と続く産業振興に関する国立研究所の役割について考察する。

5.1 明治～大正期の産業の状況^{[2][3][27][28]}

我が国の産業革命は、欧米における産業革命に遅れて19世紀末から20世紀初頭の明治中期から大正中期にかけて行われたが、単に当時の欧米からの先進技術の短期間の導入と実証およびその普及という側面のみではなく、すでに江戸時代におけるオランダ等からの科学知識の導入と普及、生糸等の問屋制家内工業の発展、佐賀藩や鹿児島藩等の諸藩における先進的な技術振興、道路や廻船による物資の流通制度の確立、藩校や寺子屋制度に見られる人材育成と識字率向上、さらには明治期になっての高等教育制度の整備と有能な人材輩出等、の科学技術や産業に関する多くの素地がそれらを大きく支えていたことは銘記されるべきである。

明治政府は初期には製糸業および紡績工業等の軽工業の振興に注力し、1872年(明治5年)には富岡製糸場が作られた。また政府は並行して通信、鉄道の整備にも力を注ぎ、すでに1869年(明治2年)には東京～横浜間に電

信回線が引かれ、1873年には東京～長崎間に、1874年には青森～東京間に電信線が開通している。

その後官営八幡製鐵所の操業が1901年(明治34年)に開始され、第1次世界大戦の前後から産業の重心が重化学工業へと変化していく。化学工業に関しては、19世紀末からの15年ほどが「近代的化学技術の体系的確立への準備期」に相応しく、製紙、精糖、石油工業が大規模化していく。その一方で、アルカリ工業、アルコール工業等は準備的状态であった^[27]。

当時の全産業に対する鉱業および製造業の産業構成比は、1885年(明治18年)で0.8%と10.7%、1900年(明治33年)で1.8%と15%、1920年(大正9年)で3.4%と20.6%である。この最後の時点で、第1次産業が30.2%、建設業(5.0%)も含めた第2次産業が29.2%となっており、さらに加えて第3次産業のうち運輸・通信業は6.5%を占めている。これらを加えると35.7%となり大正中期にはすでに第2次産業が第1次産業を凌駕していたと言える。また就業構造も1906年には第1次産業従事者および運輸・通信業を含めた第2次産業従事者の割合が、それぞれ61.8%、18.8%だったのが、1920年には54.0%、25.2%と着実に後者の割合が増加している。このように産業構成上も製造業が主要な産業になりつつあることがわかる^[27]。ただし1921～1925年の国勢調査の結果では、製造業と言っても従来の我が国の伝統的な在来産業と従業員

5人以上の近代産業の構成比は、ほぼ4:1であり、近代産業の規模はまだ大きいものではなかったことも忘れてはならない^[28]。

図19には明治・大正期(1871年～1925年)にわたる我が国と欧米主要先進国との(a)GDP(国内総生産)および(b)一人当たりGDPの推移を示す。この表はオランダのUniversity of Groningen、Maddison Project Database 2018のデータを基に著者らが構成したものであるが、GDPの値は2011年のドル換算値で示されている^{[29][30]}。明治初期1871年(明治4年)の日本のGDPに比べて、英国、ドイツ、米国のGDPはそれぞれ3.9倍、2.4倍、3.9倍であった。日清戦争後の1896年(明治29年)になっても、それぞれ3.5倍、3.5倍、6.4倍と差は縮まらなかったが、第1次世界大戦後の1919年(大正8年)では、それぞれ2.1倍、1.9倍、7.8倍となっている。米国との差はさらに大きくなっているものの世界大戦で疲弊した英独仏等の欧州各国との差が縮まっていることがわかる。なお、この間の米国のGDPの急激な成長は移民増大による急速な人口増加が大きな役割を果たしている。また我が国のGDPは、1871年を1とすると1896年で1.7倍、1919年で3.9倍と第1次世界大戦後に大きな伸びを示しており、さらに昭和に入ると(1927年)4.5倍とさらに増加する。

一方、1人あたりのGDPで見ると、1896年でドイツ、フ

ランス、イタリアは日本のそれと比べると3.0倍、2.7倍、1.4倍であったのが、1919年の時点ではそれぞれ1.5倍、1.6倍、1.0倍と減少し、欧州の疲弊と対照的に日本の産業力の向上が見て取れる。その一方で、米国が1人あたりのGDPでも欧州各国を大きく引き離しつつあることも特徴的である。

このように大正末期には我が国の産業の力は数字上では欧州先進国に近づいたように見られるが、前述のように必ずしも満足な近代的状況ではなかったようである。実際、フリッツ・ハーバーが1924年(大正13年)に我が国を訪れた際に大阪で行った講演「日本の印象について」の中で、彼は「日本の工業はいまだに紡績業が中心で鉄鋼生産が貧しい、また工場は近代的設備があるかと思うと、原始的、手工業的な部分が混在し、これらを合理化するためには、ドイツからの技術者の派遣を含め、中間技術者の教育育成を進めなければならない」と説いている^[31]。

しかしそのような状況の中で、今回取り上げた電気試験所および東京工業試験所の技術開発の例は、正に日本の産業が勃興し欧米各国に接近する近代化の過程においてその先導的役目を果たしたと言えよう。

5.2 国立試験研究所の産業上の役割

このような産業構造の急速な変化と経済成長時における国立試験研究所の役割は、それから引続く昭和期さらに

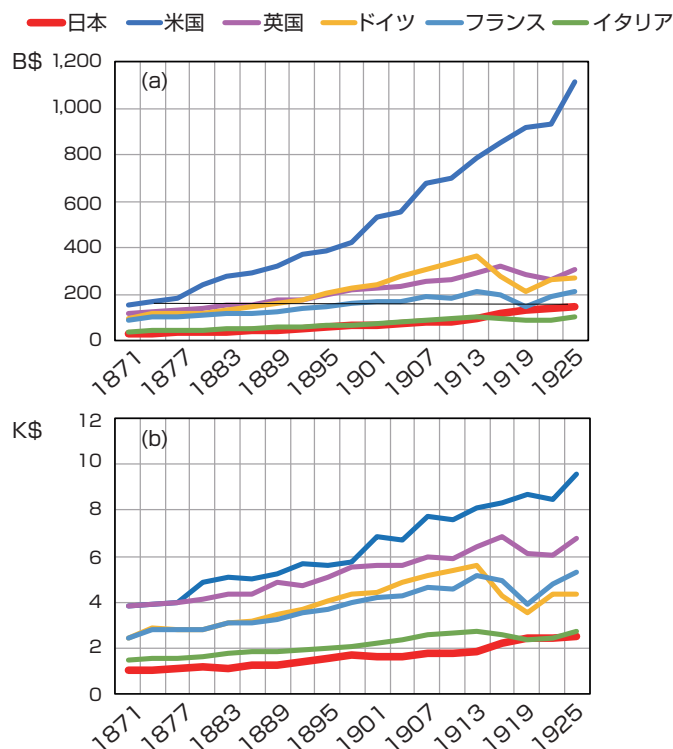


図19 明治・大正期の主要国の(a)GDP(単位10億ドル)、および(b)一人当たりGDP(単位千ドル)の推移。(文献[29]のデータから構成。GDPの値は2011年のドル換算値)

第2次世界大戦後の高度成長時においても基本的には大きな変化はなく、次の4点に集約できよう。そのうち優先度が最も高いのが(1)「国家的(社会的)課題の達成」である。上述の通り、この論説で対象とする明治から大正期にあって欧米の産業革命に比べてかなり遅れて近代化を図るために、早急なキャッチアップが国家的使命であった。上記の例では、日本の産業技術の黎明期にあって無線研究やアンモニア合成のように逸早く欧米の研究成果を取り入れた実証実験の実施やそれに基づく国産技術の開発がその例である。

その次が(2)「組織研究の実践」である。大学における研究とは異なって国立試験研究所では組織的な研究が求められ、これによって骨太で幅広い技術基盤の形成が期待される。上記の電気試験所においても東京工業試験所においても、それぞれ着実な組織研究およびそのマネジメントが行われた。臨時窒素研究所の設立はその最も適した例であり、またそこにおける大型の実験設備等の建設・利用等もこの範疇に入るといえることができる。

さらに次は、(3)独創的な研究成果を創出する「独創技術の開発」である。上記の例では、鳥潟らのTYK無線電話の研究において「直流電圧充電を用いた火花放電発生による持続波発生」が極めて独創的であり、「東工試法」アンモニア合成では柴田らによる新触媒開発が独創的成果の例である。

最後に、(4)「知識および技術移転の実施」がある。これには組織連携および人の交流が重要な役割を果たしている。初期無線研究において松代松之助はその後海軍の嘱託となり海軍の木村駿吉らとの連携による海軍での技術開発を行い我が国の海軍力の飛躍的發展をもたらすとともに、その技術はその後安中電機製作所に引き継がれ、同社は唯一の無線通信機製造会社となった。またTYK無線電話も同製作所により、1914年に世界最初の無線電話の実用化となる三重県鳥羽～神島～答志島間での船舶の監視に利用された。この事業は翌1916年通信省直轄事業としてサービス開始となった^[10]。

一方、「東工試法」によるアンモニア合成技術では、1929年に東京工業試験所の横山武一らが昭和肥料に移り、幾多の困難を乗り越えて同社川崎工場での国産初の硫酸製造の成功に大きく貢献した。この技術が実用化された後、同社においては順調に生産が進展し、1943年まで年間ほぼ17万t(シェア20%以上)の生産量を維持し、戦後も業務再開後1972年に合成硫酸生産が停止されるまで、毎年約20万t以上の生産が行われた^[26]。

また現代の産業技術開発の視点から上記の研究開発を見直すと大変参考になる。すなわち研究開発の目的とその

ための要素技術とそれを構成していくシナリオが明確であり、そのためのリーダーシップや体制整備がきちんと行われた例であると思われる。我が国初の無線研究および世界初のTYK無線電話においては、当時世界的にも早期の実現が求められていた無線による電信電話の整備という喫緊の目標があった。すでに19世紀末にドイツのハインリヒ・ヘルツ(1857年～1894年)がカールスルーエ工科大学で電磁波の発見をし、それを基にマルコーニが1895年に無線通信実験に成功した。これが要素となる科学と技術である。浅野がその価値を見抜いて松方に研究を命じ直ちに実験に成功したことは、すでに明治20年代には我が国の研究ポテンシャルが相当のレベルに達していたことを示している。その後、海軍での研究開発が進み軍用実用化され、また安中製作所という企業での発展に繋がった。

この研究開発の基本は技術の追試から始まっているが、これを契機にその後松方、佐伯らが独創的な研究を進めて我が国の無線研究の基礎を作ったと言えよう。ただし当時他にも東北大学(第二高等学校)から海軍に技術協力した木村駿吉のような俊才もいたことを忘れてはならない^[10]。

またYTK無線電話の場合は、要素技術そのものが鳥潟らによる独創的研究の成果である。これを基に多くの試験研究を繰り返し最終的には安中製作所による世界最初の無線電話の実用化に結びつけている。ここでも浅野のリーダーシップが発揮されているが、当時の電気試験所の少人数ながらも旺盛な研究開発の勢いとそのため優れた体制を見てとることができる。

他方、臨時窒素研究所におけるアンモニア合成の研究も、その目的は明確である。当時ドイツにおいて開発された空中窒素の固定法は、食糧増産に資するという産業的意義は明白であり、それをいかに我が国においても実用化するかが第1次世界大戦直後当時の大きな使命であった。ここでの貴重な判断は、すでに輸入技術に頼る企業が多い中で、「技術の国産化」を実現することであった。

その目的を実現するためのシナリオは必ずしも一筋縄ではなく、極めて大きな障害を幾つも乗り越えなければならなかったし、その技術の実現の後も昭和肥料によるアンモニア合成の企業化に至るまでの道筋も困難を極めた。独自の触媒開発と、昭和肥料での実際の実用化研究、それらの全体を支える研究開発体制が鍵であったと言えよう。ここではそれらを実用化に至るまで完成させる大掛かりなプロジェクト体制のための臨時研究所の構築による大規模研究の推進という、その後の我が国の組織研究の模範となるマネジメントが行われたことは極めて重要である。またその中でアンモニア合成用の新触媒開発という独創技術を生み

出したことも注目特筆すべきである（図 20）。

6 まとめ

この論説では、我が国の産業技術振興に影響を及ぼした例として特に電気試験所と東京工業試験所の研究成果とその普及例を紹介した。これらは我が国の産業技術の黎明期における極めて特徴的な成果であり、今まで連続と続く国立試験研究所の初期の役割を典型的に示した好例であろう。翻って現在では公的研究所の社会的ミッションは、社会的イノベーションの創出であろうが、その他の役割については大きな相違はないように思われる。今後引き続き他分野の例も含めて、より詳しい考察を行っていくことが重要であるが、今後の公的研究所の社会的ミッションの遂行に参考になれば幸いである。

一方で、IoT や AI の進歩のように社会の動きが極めて激しい中で、公的研究所の活動のあり方も鋭くそのあり方を問われている。さまざまな社会的課題があるにも関わらず、この論説で示したような明確な目標を設定しにくい中で、どのように研究開発を進めていくかが極めて重要である。そのためには、それぞれの目標の設定と、その実現のために考えられるシナリオを設定し、図 20 で示すサイクルを早く回していくことが求められる。そのためにも常に社会や産業界との対話・連携が必要であろう。

注 1) 電気試験所に先立って工部省内に電信用国産碍子試験のため碍子試験場（または試験所）が 1876 年（明治 9 年）に設けられたと記され¹⁵⁾¹⁹⁾、実際に東京都中央区銀座 8 丁目に「碍子試験所」の碑がある。しかし杉藤芳雄氏によれば公式に「碍子試験所」と呼ばれた独立した組織は実在しなかったようである。（工業技術院電子技術総合研究所「研究に関する研究」研究班報告書、1994 年）

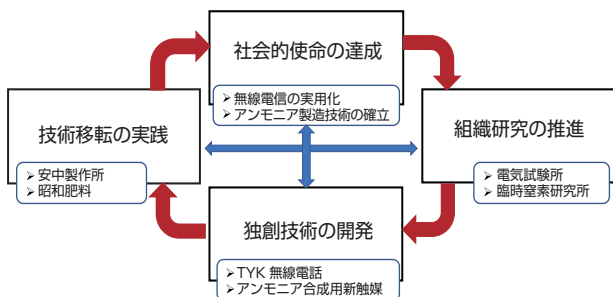


図 20 国立研究所の役割と本論文で示した例

参考文献

- [1] 産業技術総合研究所ウェブサイト: <http://www.aist.go.jp>, 閲覧日2019-12-01
- [2] 中岡哲郎: *日本近代技術の形成*, 朝日新聞社, 8-21, 46-64, 460-480 (2006).
- [3] 石井寛治: *日本の産業革命*, 講談社, 68-80, 153-158 (2012).
- [4] 電気試験所: *創立五十周年記念 電気試験所五十年史*, 705-734 (1944).
- [5] 電気試験所: *創立六十周年記念 電気試験所最近の十年史*, 1-3, 296-300 (1951).
- [6] 電気試験所: *創立七十周年記念 電気試験所最近の十年史*, 1-3 (1961).
- [7] 電気技術に果たした国立研究所の役割調査専門委員会編: *電気技術に果たした国立研究所の役割*, *電気学会技術報告*, 926, 5-10, 30-32 (2003).
- [8] 工学博士浅野應輔先生伝記編纂会: *工学博士浅野應輔先生伝*, 12-38, 58-65 (1944).
- [9] 電子技術総合研究所創立100周年記念事業実行委員会: *軌跡 電子技術総合研究所創立100周年記念写真集*, 2-6 (1991).
- [10] 日本科学史学会編: *日本科学技術史体系 第19巻 (電気技術)*, 125-134, 181-204, 239-251 (1969).
- [11] 松代松之助: *現時ノ無線通信*, 電友社, (1905).
- [12] アンリツ(株): *アンリツ100年の歩み*, (2001).
- [13] 鳥潟博士33回忌回想録刊行会: *鳥潟博士と無線研究60年の歩み : 33回忌回顧録*, 1-7, 83-85, 96-126, 170-173 (1955).
- [14] 電友社: *電気之友*, 306, 75-77 (1912).
- [15] 郵政博物館ウェブサイト: <http://www.postalmuseum.jp/column/collection/tykwireslesstelephone.html>, 閲覧日2019-12-01
- [16] 東京工業試験所編: *東京工業試験所五十年史*, 220-228, 247-250 (1951).
- [17] 日本科学史学会編: *日本科学技術史体系 第21巻 (化学技術)*, 275-286 (1964).
- [18] 亀山哲也, 鎌谷親善: *臨時窒素研究所の10年*, *化学工業資料*, 13 (8), 1-63 (1979).
- [19] 亀山哲也, 鎌谷親善: *臨時窒素研究所-設立の背景*, *化学史研究*, 10, 15-26 (1979).
- [20] 亀山哲也: *工業所有権戦時法による専用免許と臨時窒素研究所*, *特許研究*, 6, 26-35 (1988).
- [21] 亀山哲也: *窒素工業技術懇話会と東京工業試験所*, *化学工業技術懇話会*, 65-85, (1990).
- [22] 亀山哲也: *日本最初の大型プロジェクトはいかにして遂行されたか*, *科学と国家と宗教*, 平凡社, 9, 252-276, (1995).
- [23] 江崎正直, 亀山哲也: *アンモニア合成技術の歴史*, *20世紀の日本の化学技術* (化学史学会編), ティー・アイ・シー社, 第1章, 6-47 (2004).
- [24] 亀山哲也: *日本の近代化学工業を創出した臨時窒素研究所*, *近代日本の創造史*, 6, 3-17 (2008).
- [25] 亀山哲也: *日本の近代化学工業創出の原点*, *化学と工業*, 66 (7), 547-549 (2013).
- [26] 昭和電工株式会社社史編集室: *昭和電工五十年史*, 昭和電工, 37-46 (1977).
- [27] 経済企画庁 平成12年度年次経済報告, <https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je00/wp-je00-0020j.html>, 閲覧日2019-12-01
- [28] 中村隆英: *明治大正期の経済*, 東京大学出版会, 177-196 (1985).
- [29] J. Bolt, R. Inklaar, H. de Jong and J. Luiten van Zanden: *Rebasing 'Maddison': new income comparisons and the shape of long-run economic development*, *Maddison Project Working Paper 10*, (2018). 閲覧日2019-12-01
- [30] University of Groningen, Maddison Project Database 2018; <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/>

releases/maddison-project-database-2018, 閲覧日2019-12-01

[31] 宮田親平: 愛国心を裏切られた天才 ノーベル賞科学者ハーバーの栄光と悲劇, 朝日文庫, 190-192, (2019).

執筆者略歴

小林 直人 (こばやし なおと)

1978年京都大学工学研究科博士課程修了、工学博士。同年通産省工業技術院電子技術総合研究所入所。1996年量子放射部放射線応用研究室長、1997年企画室長、1998年量子放射部長。この間、西ドイツ・カールスルーエ原子核研究センター（1982～83年）および米国コーネル大学（1988年）で量子ビーム・超伝導体材料・半導体材料に関する在外研究を行う。2001年産業技術総合研究所光技術研究部門長、2003年より同理事、評価部長兼務、2007年より同理事、環境安全管理部長・業務推進本部長等兼務。2009年4月より早稲田大学研究戦略センター教授、2018年所長。2020年4月より早稲田大学参与・名誉教授。専門は光デバイス工学、半導体材料工学、量子ビーム工学、研究戦略・評価、産業技術論など。この論説では、主として旧電気試験所の研究開発に関する事項と5章の考察について論述を進めた。



亀山 哲也 (かめやま てつや)

1975年、名古屋大学大学院工学研究科応用化学博士課程満了、博士（工学）。1975年、工業技術院東京工業試験所入所。水素エネルギー技術の研究（サンシャイン計画）に於いてセラミックス系水素分離膜を開発した。また、日本で最初の大型プロジェクト方式によりアンモニア合成技術の開発に成功した臨時窒素研究所の全貌を解明した。1982年、科学技術庁の長期在外研究員として米国MITに於ける超高温の発生および利用に関する研究を行った。1983年～、ハイブリッド型高周波熱プラズマ発生装置の開発および同装置を用いた貴金属代替超微粒子触媒を創製した（科学技術庁振興調整費）。1987年、化学技術研究所（元東京工業試験所）エネルギー化学部課長。1997年、名古屋工業技術研究所バイオセラミックス研究室長。高周波熱プラズマ法による生体適合性セラミックスを開発した（工技院競争特研）。2001年、産総研セラミックス研究部門長。企業からの資金提供による省エネ型セラミックス製造技術の開発を主導した。2005年、文科省の特定領域研究「日本の技術革新—経験蓄積と知識基盤化」における「日本の文化・伝統と技術革新」の研究を主導した。2012年、産総研名誉リサーチャー。名工大の連携大学院教授、名大の非常勤講師等を務めた。この論説では、主として旧東京工業試験所の研究開発に関する事項と5章の考察について論述を進めた。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント (沢井 実: 南山大学、佐藤 一彦: 産業技術総合研究所)

国立試験研究機関の活動の歴史的意義を検討するために、国立試験研究所の中でも最も長い歴史を有する電気試験所と東京工業試験所を取り上げ、両研究機関による開発プロジェクトの中の代表的成功事例である「TYK式無線電話機」と「東工試法」の産業技術史的、社会経済史的意義をバランスよく分析されています。

また国立試験研究機関の役割を、(1) 国家的 (社会的) 課題の達成、(2) 組織研究の実践、(3) 独創技術の開発、(4) 知識および技術移転の実施の4点に集約して、それらの観点から取り上げられた研

究開発プロジェクトを考察している点も評価できます。この4点は、技術開発から社会実装に至るための、現代でも変わらない成功の鍵となります。公的研究機関の役割や、研究開発の進め方を再認識するうえで有益であり、シンセシオロジー論文としてふさわしい内容になっています。

議論2 当時の異なるセクター間の連携状況

コメント (沢井 実)

1934年時点での官立試験研究所（植民地を除く）の研究経費ランキングは、電気試験所（140万円、人員1090人）、東京工業試験所（58万円、90人）、鉄道大臣官房研究所（55万円、271人）、大阪工業試験所（46万円、70人）、内務省土木試験所（25万円、100人）の順であり、一方陸軍科学研究所（159万円、417人、35年数値、以下同様）、海軍技術研究所（554万円、827人）、東京帝国大学航空研究所（63万円、240人）等も大きな存在でした（沢井実『近代日本の研究開発体制』51、53頁）。

しかし同時代および戦時期の科学技術新体制に関する議論では、

(1) 軍・官・産・学の4セクター間の連携の悪さ、(2) 国際的にみれば研究開発投資の小規模性、(3) 官立試験研究機関の学術志向性・研究成果の応用面の弱さ、(4) 民間企業における研究所と工場現場の連絡の悪さ等が絶えず問題視されていました。そうした中であってこの論説で取り上げられた2事例は研究成果の卓越性だけでなく、応用面での拡がりにおいても特筆すべき事例であると思われます。

質問 (佐藤 一彦)

製造法を革新して社会実装するまでには、現代でも通常は長期間かかります。現代よりも研究資金や設備、情報等が少ないこの時代に、わずか数年で基礎研究から中規模生産を達成できた最大のポイントは何でしょうか？

回答 (小林 直人、亀山 哲也)

特に第2次世界大戦前の場合、国の技術開発における軍の支援は大きかったと思います。電気試験所の無線通信研究の例では松代松之助による実験成功を知った海軍がいち早く研究開発に着手することを決め、その要請を受けて松代らが海軍に赴いて研究に協力したのはその例です。その間の海軍からの多額の資金的援助が実用化に結びついたものだと思います。さらにそれに企業も参加した連携が行われたこと、きちんと企業に技術を渡して企業が自立できたことが大きな理由だと思います。ただこの件の場合は、参考文献[10]の中の野島晋氏の指摘のように、「軍用にそのすべてを吸収されることなく、商用化への自主技術を継承・発展させたことが、非常に重要だった」と思います。またご指摘の「官立試験研究機関の学術志向性・研究成果の応用面の弱さ」という状況の中で、本件の電気試験所の浅野所長の率いたチームは、無線通信にしてもTYK型無線電話にしても大変稀有な例であったと思われます。

臨時窒素研究所におけるアンモニアおよび硝酸合成技術の開発は10年間の大型プロジェクト方式で実施しました。予算は潤沢で、当時の東京工業試験所全体の予算と同レベルでした。5チーム程度で、優秀なプロジェクトリーダーのもと、2名程度の研究者および同人数の実験助手がいました。さらに、囑託として東大とか東北大学の著名な先生を有給で採用していました。このような体制がミッションの達成を確実なものにしたと思われます。

議論3 継続的な研究の成果

コメント (沢井 実)

卓越した研究成果を上げることとそうした成果を継続的に生み出す組織を構築することとはリサーチ・マネジメントのうえで分けて考えられます。「TYK無線電話の成功のために電気試験所における真空管研究への対応の遅れがあったとも考えられ」との指摘があります。戦時期になると電波兵器開発が焦点の急となり、堀岡正家電気試験所所長は陸海軍の電波兵器開発責任者に対してさまざまな提言を行

いますが、電気試験所が真空管研究開発ネットワークのハブ的存在になったようには思われません（沢井前掲書、「第8章 太平洋戦争期における『共同研究』の諸相」）。電気試験所における真空管研究の遅れを規定した要因として何があったのでしょうか。

回答（小林 直人）

参考文献 [7]、[10]、[13] によれば、当時の電気試験所では鳥潟らが早くから真空管に注目していたものの、1912年にTYK型無線電話が発明された数年後の1915年にはすでに米国では25Wの真空管300個を使用した長距離無線電話に成功している^[13]のに対して、電気試験所では後追いでやっと1917年に至って真空管利用の受発信装置の実験に成功しています。ただし1918年には真空管式に基づく世界初の電力線利用搬送無線電信電話に成功している等一定の成果を出しています。鳥潟の部下であった丸毛登は真空管に関する研究が遅れた理由として、(1) TYK型無線電話の改良（希薄ガス中放電研究等）に時間を費やしたため真空管研究の開始が遅れたこと、(2) 初期において所幹部が真空管研究に予算をあまりつけなかったこと、(3) 1923年の関東大震災のため、それまであった真空管研究の臨時予算がなくなり真空管研究が中止されたこと、等を挙げています。特に、(1) については鳥潟グループの責任でしょうが、(2) (3) については、優れたリーダーシップを発揮した浅野應輔所長が1914年にすでに退任していて、当時の所幹部が彼のように真空管研究の重要性に対する慧眼を持っていなかったことによるかも知れません。また鳥潟も1920年に所長となり自分自身の活動を無線研究から電力应用到に主力を移しています^[13]。これは当時電力の研究への傾斜の社会的流れがあったかと考えられます。さらに当時、真空管技術を東京電気（後の東芝）に提供し、製品を同社に作らせる等主力が企業に移ったこと^[7]、また真空管研究の背景にはしっかりした科学研究基盤が必要であったものの日本ではその面での脆弱性があったこと^[10]等も指摘されています。しかし、全体としては、やはり鳥潟を含めた当時の電気試験所幹部の研究戦略の方向性の問題であったと考えられます。

議論4 我が国の独自技術の開発

質問（赤松 幹之：産業技術総合研究所）

当時の研究開発を考える上で独自技術という観点は重要な観点ですが、独自技術の研究開発を推進した原動力はどこにあったのでしょうか。また、独自技術であることと技術移転が行われたこととに関連はありそうでしょうか。アンモニア合成のところに書かれている

ように、産業界の雰囲気は輸入技術推進派と独自技術推進派に分かれていたように思われます。富国強兵、殖産興業の思想の流れとの関連性も議論できるのではないのでしょうか。

回答（小林 直人、亀山 哲也）

電気試験所の初代所長の浅野應輔所長は国産技術ということに相当な重点を置いていたようです。その理由は外国企業に対して高額の特許料の支払い避けるためもありますが、それ以上に我が国の技術基盤を早く高めて常に外国の後塵を拝さなくても良いようにするという安全保障上からの強い決意があったと思います。松代松之助の場合は雑誌の記事内容だけで独自にコヒーラーを開発したようですし、鳥潟の無線電話についてはそもそも外国と初めから競争をしてそれに先んじたということがあります。無線通信は安中電機製作所（現在のアンリツ）が実用化しましたが、その創業者である安中常次郎は、東京帝国大学助手の時に無線電信の将来性に着目して会社を創設し（1900年（明治33年））、電気試験所・海軍とタッグを組んで36式無線電信機を開発し、その後TYK型電話の実用化も同社が行っており、創業5年目には売り上げが創業時の5倍の2万4000円（現在の価格で40億円以上）になっています。この例を見ると、有望な技術領域における創業ベンチャーが国からの技術導入と公的調達によって育って行ったというのが真相であったと考えられます。いずれにしても電気試験所の松代松之助、海軍の木村駿吉、安中電機製作所の安中常次郎の間の緊密な連携が新たな技術の実用化・産業化に結びついたものと言えらると思います。

アンモニア合成技術に関しては、食糧増産および軍事に関わる基幹技術であり、外国に依存しないことが必要であるとの農商務省の考えでありました。それを実現するために設立されたのが臨時窒素研究所です。第1次世界大戦後においては食糧増産という社会的課題に応えるため、表2にみられるように日本のほとんどの企業がドイツ、フランス、イタリアの企業のアンモニア合成技術を高い特許料を払って導入し、硫酸等の化学肥料を製造・販売していました。昭和肥料も当初は外国技術を導入して硫酸等を製造しようとしたのですが、すでに日本の他社の企業に先を越され、導入すべき外国の技術はない状況でした。一方、国産技術を開発した臨時窒素研究所も日本の企業が活用してくれなければ、その目的を果たすことはできなかったことから両者の思いが合致し、国に対して安い特許料を支払うことで、当時、最大の硫酸を製造することに成功したと言えます。