

1 4 サイクルディーゼル機関の技術系統化調査

Historical Development of Four Stroke Diesel Engine

佐藤 一也
Kazuya SATO

■ 要旨

1776年にイギリス人のジェームス・ワット（James Watt）が蒸気機関を発明したことで、人類は初めて燃料の燃焼によって動力を得る手段を手に入れた。蒸気機関は製鉄所や紡績工場など多くの工場に設置され、続いて船舶に搭載され、そして蒸気機関車、自動車を誕生させることになり、文字通り産業革命の原動力となった。

19世紀後半になると、内燃機関の出現が活発になる。ドイツ人のオットー（N.O.Otto）が1860年に発表したオットーサイクルはのちのガス機関、ガソリン機関へ発展し、1882（明治15）年のスウェーデン人ド・ラバル（C.G.P.de Laval）と1884（明治17）年のイギリス人パーソンズ（C.A.Parsons）による蒸気タービンの発明は蒸気機関の代替原動機として発展した。そして1885（明治18）年にイギリス人プリーストマン（Prestman）が発明した石油発動機は、農業機械やポンプ駆動用として1960年代まで盛んに使用され、1886（明治19）年に同じイギリス人スチュアート（H.A.Stuart）が発明した焼玉機関は、漁船用主機などに1960年代まで数多く使用された。

1897（明治30）年、ドイツ人ルドルフ・ディーゼル（Rudolf Diesel）は5年にわたる実験の結果、ついにディーゼル機関の運転に成功し世界の注目を浴びた。熱効率の高さと多様な燃料が使用できる点がほかの原動機との大きな違いだった。ディーゼル機関はまず陸上の発電や動力源に、蒸気機関の代替として利用され、続いて船舶推進用、鉄道車両用、自動車用などに用途が広がっていく。

わが国へディーゼル機関が入ってきたのは1907（明治40）年ころで、国産1号は1917（大正6）年に誕生したことが記録されている。以来船舶、陸用、鉄道車両、自動車など各分野で目覚ましい発展を遂げてきた。船舶では蒸気機関、蒸気タービンをほぼ完全に排除して高いシェアを維持しているし、鉄道用でも蒸気機関車に完全にとって代わった。また、農業機械に多く使われていた石油発動機も、漁船機関として主流を占めていた焼玉機関もディーゼル機関の経済性の前には太刀打ちできず1960年代を最後に製造が途絶えた。自動車は商用車中心だったディーゼル機関が乗用車にも次第に浸透していく勢いである。

このように、ディーゼル機関が各分野で勢いを増している反面、1990年代から特に世論の盛り上がりを見せている環境問題に関して、ディーゼル機関は窒素酸化物（NO_x）と粒子状物質（PM）の排出量が高く、これらを削減することが課題になっている。これは高熱効率であることと低質燃料油の使用と密接に関係しており、新しい燃焼方式、バイオマスなど新たな燃料への適応性も含めて検討すべき課題と思われる。

本調査ではディーゼル機関の利用分野のうち、船舶用、陸用、鉄道車両用の三分野に絞り、4サイクル機関を中心として系統化し、前年度調査済みの「船用大形2サイクル低速ディーゼル機関」については重複を避けた。そしてこれらの分野に共通する主要関連技術の発達過程を横断的に調査した。調査対象時期は、ディーゼル機関が発明された19世紀末から現在までとしているが、記録の散逸が懸念される戦前についても極力記述した。これら機関にかかわる外国のライセンスや国内メーカーは多岐にわたり、現存しないメーカーもあるが、産業史のなかで果たした役割について極力記録を残すことに努めた。そして、巻末には機関メーカーの消長に関する年表、ディーゼル機関の発展系統図、4サイクルディーゼル機関の発達史などを付した。

■ Abstract

Many means of obtaining power by burning fuel have been developed since James Watt invented the steam engine in 1776. Steam engines were initially installed in plants (iron, textile, and so on) and then later on ships, in locomotives, and in automobiles. The steam engine was a driving force of the industrial revolution.

The internal combustion engines appeared during the latter half of the 19th century. The invention of the Otto cycle engine by Nicolaus Otto, a German, in 1860 led to the gas engine and gasoline engine. The invention of the steam turbine by C. G. P. de Laval, a Swede, in 1882 and by Charles Parsons, a Briton, in 1885 gradually drove out the steam engine. The kerosene engine, invented by Prestman, a Briton, in 1885 had been successfully applied to agricultural machinery and the pump driving by the 1960s. The hot bulb engine, invented by Herbert Stuart, a Briton, in 1886 had been installed on a large number of fishing vessels by the 1960s.

Rudolf Diesel finally produced a successful prototype of a compression ignition engine in 1897 as the result of much experimentation over the previous five years. His namesake engine had high thermal efficiency and could burn various kinds of fuel, making it greatly different from the other engines of the time. The diesel engine was initially applied mainly to power generators and for mechanical driving as a successor to the steam engine. Its application gradually expanded to ships, locomotives, automobiles, and so on.

The first diesel engine was imported into Japan in about 1907, and production in Japan began in 1917. Subsequently, the use of the diesel engine in Japan spread remarkably to ships, stationary use, railway cars, automobiles, and so on. It eliminated the use of steam engines and steam turbines for ship propulsion and the use of steam engines for locomotive propulsion. The production in Japan of kerosene engines (mainly for agricultural machinery) and hot bulb engines (mainly for fishing vessels) finally stopped in the 1960s. In the Japanese automobile industry, the diesel engine is now spreading from commercial to passenger vehicles.

Diesel engines emit high levels of nitrogen oxide (NOx) and particulate matter (PM), and the reduction of these emissions has been an important research area for the past two decades. This emissions problem is closely related to the engine's high thermal efficiency and to the low quality of the fuel burned. While many researchers have tackled this problem, it remains unsolved.

This paper describes the historical development of the four stroke diesel engine for three application areas: ships, land stationary use and railway cars among its many applications. It is a follow-up to "Historical development of two stroke marine diesel engine" published in 2007. It focuses on the period following World War II, but developments before the war are described in as much detail as possible because of concern about the loss of the records.

The appendix presents a diagram showing the development time course of the diesel engine, and the genealogy of the engine builders in Japan is shown as a line drawing.

■ Contents

1. はじめに	3
2. ディーゼル機関の誕生から普及まで	5
3. 船舶用ディーゼル機関の発達過程	11
4. 陸用ディーゼル機関の発達過程	40
5. 鉄道車両用ディーゼル機関の発達過程	53
6. 機関種類別の発達過程	62
7. 主要関連技術の発達過程	66
8. まとめと考察	73
謝辞	75
付属資料	77

2 医療用 X 線 CT 技術の系統化調査報告

Historical Development of X-Ray Computed Tomography for Medical Use

平尾 芳樹
Yoshiki Hirao

■ 要旨

X 線 CT 装置は（以後 CT と略す）は 1968 年に英国 EMI 社のハンスフィールド（Godfrey Hounsfield）によって発明され、放射線診断学を一変させ、近代医療に計り知れない恩恵を齎した。

医学会にあっては X 線の発見以来の革命的出来事で、CT は登場するやいなや、類まれなる開発競争が展開され、熾烈な競争下で様々なアイデアに基く多様な装置が開発され、驚異的速度で進歩発展を遂げた。2 次元平面像であった CT 画像は今や三次元立体画像となり、ボリューム CT 時代に至っている。このボリューム CT への扉を開いたのが日本が生んだ高速連続回転 CT とこれに続くヘリカルスキャン（スパイラルスキャン、螺旋状スキャン、JETT スキャン、とも呼ばれている）である。

本報告書の理解のために、CT の原理について基本を概説してから、CT 登場以前の先史的試みや原理的発見から、現代に至る CT 成長の過程をエポックメイキングな装置と、企業の盛衰を含めて、七期に分けて整理した。産業技術史と系統化の視点で、わが国が生んだ高速連続回転 CT とヘリカルスキャンに焦点を当て、そこに至る経緯に重点を置き、さらに、これらの登場によって描かれた現在に至るビジョンと、この達成への歩みについても簡単に触れた。

CT の歴史はシーズ主導であると言われているが、実はニーズと呼ぶより、叶わぬ夢とも呼ぶべき深い願望が存在している。すなわち、解剖せずに人体内部を観察したいと言う願望であった。この願望を叶えた一つが X 線であったし、CT であった。願望は次の願望を生み、願望は夢で終わらず、叶えられてきた。CT 登場後の歴史は、この夢を現実化してきた歩みと言える。熾烈な競争下で登場した様々なアイデアの中には現在にも通じるものが多く存在していた。必要なシーズが揃わなくて、日の目を見なかったり、シーズが未成熟で、実用域に及ばず受け入れられなかったりしたものも多く、シーズの成熟、発展に伴って、後年に再び脚光を浴びる例も多い。高速連続回転 CT の基本構成であるスリッピングはその最たるものである。必要なシーズの発掘、育成、醸成、の努力と共に、新たなシーズの誕生によって、CT は発展を続けてきた。待つことも含めて、必要なシーズを揃えるのに長時間を要するために、時として元々の願望（ニーズ）が忘れ去られ、実現時に唐突感を与えることになる。アイデアレベルでは相当古くから知られており、在る時突然実現することになる。

なお、CT は医療装置であり、疾病構造、医療行政等に無縁では有り得ず、これらと密接に関連する。CT 登場後は、日本では官主導での大量調達により、CT 検査の効用が世間に迅速に認知され、低額では有ったが保険適用されたことで CT 検査は急速に普及した。輸入で立ち上がった CT 産業ではあったが、独自開発による我国に適した装置開発と相まって、コストダウンが進められ、市場の成長が促進された。保険点数は高く、導入を抑制する方向であった欧米諸国とは大きく異なっていた。その結果、わが国は人口当たり台数で世界一の CT 普及国となり、世界の CT 製造企業 7 社のうち 3 社を有しており、CT に関して果たした役割も大きい。CT 登場以前でも高橋信次による回転横断撮影法はアナログ CT と呼べる物で、世界的に評価され、TAKAHASHI TOMOGRAPHY と敬意を持って呼ばれている。また超高速 CT の原型とも言える装置もわが国で生まれており、これら日本発、あるいは日本初の足跡についても極力取り上げた。

日本は世界一の CT 普及国であると共に、世界一の医療被曝国とも言われており、CT による医療被曝が課題であるが、それに見合う効用も大きく、無駄な検査を避け、適正な CT 検査に努め、医療被曝の最適化を図る事が有識者により提唱されている。医療被曝の課題も認識されている限り、日々の地道な努力にて改善され、CT は、新たに描かれた夢に向かって今後も進化を続けていくであろう。

■ Abstract

The first X-ray computed tomography (CT) scanner was invented in 1968 by Godfrey Hounsfield of EMI, Ltd. in the United Kingdom. Computed tomography transformed radiological diagnostics and brought about immeasurable benefits to modern medical care.

In medical conventions, CT was the most revolutionary event since the discovery of X-rays, and no sooner had CT appeared than severe competition began resulting in the development of diverse equipment based on a variety

of ideas and to unbelievably rapid progress. Computed tomography images began as two-dimensional planar images (slices) that have since evolved to three-dimensional images that launched the “volume CT” era. The door to volume CT was opened by high-speed continuous rotating CT and its successor helical scan CT (also known as spiral scan, screw-shaped scan, and JETT scan) born in Japan.

To facilitate understanding of this report, we will begin with an explanation of basic CT principles. This will be followed by a history of CT growth divided into seven periods ranging from pre-CT attempts and the discovery of basic principles to state-of-the-art technology including epoch-making equipment and the ups and downs of corporate ventures. Here, from the viewpoint of industrial-technology history and systemization, we will focus on high-speed continuous rotating CT and helical scan CT that originated in Japan placing importance on the sequence of events leading up to that equipment, and we will touch upon the future vision generated by the appearance of this equipment and advances made to fulfill that vision.

It is said that the history of CT has been technology-driven (seeds-driven), but, in actuality, there exists a deep desire stemming from an unfulfilled dream rather than a need. In other words, there is a natural desire to be able to look inside the human body without having to dissect it. This desire has been fulfilled first by X-rays and then CT. Here, one desire gave rise to another desire, and the latter desire came to be fulfilled without bringing an end to the dream. The history of CT following its initial appearance can be viewed as the path taken to achieving that dream. Amidst the many and diverse ideas that appeared under severe competition, there were still many things shared in common, and that is still true today. There are many cases in which necessary technological innovations or seeds could not be adequately arranged leaving them to be forgotten and cases in which seeds never matured enough to enter the practical domain and be accepted. But there are also many examples of seeds that have eventually matured and progressed giving them a second chance in the limelight. The slip ring making up the basic configuration of a high-speed continuous rotating CT is a prime example of this process. Computer tomography has continued to progress by efforts made to uncover, cultivate, and foster necessary seeds and by the birth of new seeds as well. Considering that it takes a long time to arrange necessary seeds (as some seeds must sometimes be waited for), original desires (needs) are sometimes forgotten making it appear that they have suddenly turned up in the present. At the idea level, needs are known from many years before, but they can suddenly materialize at a certain point in time.

Given that CT is predominantly used for medical care, it cannot help but be closely related to disease structure, administration of medical care, etc. After the appearance of CT, the usefulness of CT examinations came to be rapidly recognized in society due to government-led mass procurement, and the use of CT examinations spread rapidly due to their coverage by health insurance for low-income patients. Although a CT industry launched through the import of equipment existed, this industry combined with the domestic development of equipment oriented to Japanese needs helped to drive down costs and promote market growth. This situation differed from that of Europe and the United States where the trend was to control the introduction of CT due to the high number of health insurance points associated with it. As a result, Japan leads the world in terms of number of CT units per capita, and among the seven CT manufacturers in the world, Japan is home to three of them. Japan therefore plays an important role in the CT industry. Before the appearance of CT, the Axial Transverse Tomography (ATT) method developed by Dr. Shinji Takahashi (also referred to as “analog CT”) received high praise from around the world, and it is sometimes called Takahashi Tomography out of respect for its creator. Ultra-high-speed CT equipment also originated in Japan, and such Japanese-original devices and achievements have been taken up in this report as much as possible.

In addition to being the world leader in number of CT units per capita, Japan is also called the world leader in medical radiation exposure. Though radiation exposure by CT is certainly an issue, the benefits of CT are nonetheless considerable. Key figures in the field advocate that unnecessary CT examinations be avoided and that efforts be made to administer appropriate examinations with optimal doses of radiation. As long as the issue of medical radiation exposure is recognized and steady efforts are made to improve CT in this regard, we can expect CT to continue to evolve toward the realization of newly formed dreams.

■ Contents

1. はじめに	85
2.X 線 CT 装置の原理	86
3.EMI スキャナ登場以前の萌芽期	94
4.EMI スキャナ登場（新放射線診断学の曙）	98
5. 開発競争の時代の幕開け（放射線診断学の革命）	100
6. 高性能化と CD の追求による市場拡大 （MRI との市場争奪競争）	114
7. 高速化連続回転スキャナの登場 （ボリューム / リアルタイムスキャン時代幕開け）	123
8. ヘリカルスキャンの開発	130
9. ヘリカルスキャン以降	136
10.CT 応用の広がりと波紋	141
11. 系統化まとめ	149
12. あとがき・謝辞	153
資料 X 線 CT 装置の世代変遷と系統化	154
X 線 CT 装置の世代変遷と系統化（1）	155
X 線 CT 装置の世代変遷と系統化（2）	156
高速連続スキャン以前の装置系統図	157
CT 登場前後のトピックス （社会、医療関連、CT 装置関連）	158
CT 登場前後のトピックス （社会、医療関連、CT 装置関連）	159
産業技術史資料・登録候補一覧（医療用 X 線 CT 装置）	160

3 「多孔質ファインセラミックス」の産業技術の系統化

Historical Development of Porous Fine Ceramics

金野 正幸
Masayuki Kaneno

■ 要旨

ファインセラミックスは電子・半導体、情報・通信、環境・エネルギー、自動車、医療・バイオなど現代の重点戦略分野の産業基盤を支える必須材料である。日本のファインセラミックス産業は生産額 2 兆円を超え、生産量、技術とも世界をリードしている。このことが、我が国の先端産業分野での高い競争力を可能にしているといっても過言でない。

ファインセラミックスは、材料、形状、用途、製法とも極めて広範囲にわたるため、今回の調査の対象を多孔質ファインセラミックスに絞った。主な理由は、多孔質ファインセラミックスは、近年の緊急な課題である地球環境問題に対応した材料として最も多く用いられているためである。

セラミックスの歴史は古く、瀬戸焼、有田焼などに始まる従来の陶磁器を中心とした伝統的セラミックス技術を継承して、近年のファインセラミックスへ進歩発展した。本調査ではこれらファインセラミックスの技術発展の経緯と産業の現状を世界と比較して概観した。ファインセラミックスが日米欧各国で組織的に開発着手されたのはわずか 40 年前のことであり、産業としての歴史は 30 年弱である。その間に我が国は上記の伝統的な技術継承、産官学の国家プロジェクト、メーカー間の高レベルの競争などにより、技術、生産量とも世界の頂点に立つことが可能となった。多孔質ファインセラミックスの技術発展と機能については、多孔質の構造と製造法・用途を中心に調査し、代表的な用途として、生産量が多く、社会的な影響力の大きい自動車排気ガス浄化用触媒担体（ハニカム）、ディーゼル自動車・エンジンから排出される黒鉛微粒子浄化用ディーゼル・パーティキュレート・フィルター（DPF）、一般用途のセラミックフィルターの 3 用途を取り上げ、製造技術の開発史、事業化に到った経緯を調査・報告した。ハニカムは、今までに陶磁器製造技術で培ったセラミック焼成技術と新たに我が国独自に開発した低膨張材料と押出し製造法をコア・テクノロジーとして開発・事業化したものであり、現在では世界の約 50%を生産している。DPF は、ハニカムで開発された押出し製造法と DPF に要求される性能の材料開発成功に基づき世界で初めて事業化したものであり、現在では世界の約 80%以上を我が国が生産している（海外工場生産分含む）といわれる。また、一般用途のセラミックフィルターは日本では戦前から下水処理の用途に広く用いられていたが、近年ではさらに高性能フィルターとしての開発が行われている。

多孔質を含むファインセラミックス産業が本格的に開発されてから約 40 年の間に、日本が世界をリードするまでに到った要因は、伝統的セラミックス技術の継承、民生用を対象とした国家プロジェクトなど産官学の連携、開発が旺盛な複数メーカーの競争、優れた品質管理・生産管理等である。しかし、近年の生産工場及び開発部署の海外移転に伴う国内技術の空洞化、ナノテクノロジーに代表される海外の大規模な国家プロジェクト等により、日本の優位性が脅かされており、今後ともその地位を維持するためには、産官学にわたるより一層のたゆまぬ開発努力が要求される。

■ Abstract

Fine ceramics is an essential material for present strategic industry, including electronics, semiconductors, information, telecommunication, environment, energy, automobile, medical, bioindustry and so on. Annual production of Japanese fine ceramic industry exceeds 2000 billion yen and Japan leads the world both in production and technology in this field. These fact enables the Japanese strong power in the frontier industry.

Since fine ceramics is broadened in extreme wide ranges in material, shape, application field and manufacturing method, the target of this survey is focused on porous fine ceramics. Because porous fine ceramics is used widely as a material corresponding to the global environmental problem which is the urgent issue.

Ceramics has a long history. Traditional ceramics representing by Seto and Arita wares have progressed and expanded into modern fine ceramics. This research surveys the development history and industrial situation of fine ceramics, comparing to the world.

In Japan, US and Europe, fine ceramics have undertook research and development only in 40 years and its industrial history is less than 30 years. In the meantime, Japan have reached to the top in the world both in

production and technology by inheriting the above traditional ceramic technology, continuing the national project including industry, government and academy, and the high level competition between ceramic manufactures. Concerning the technological progress and property of porous ceramics, the structure, manufacturing method and application field are mainly surveyed. As typical applications of porous fine ceramics, a ceramic catalyst carrier for purifying automotive exhaust gas (honeycomb structure), diesel particulate filter (DPF) and ceramic filter are taken up, and their development and commercialization history are surveyed and summarized. Honeycomb structured catalyst carrier was developed by advancing the traditional ceramic technology and newly developed low expansion material and extrusion process as the core technology. Nowadays, approximately 50% of the world are produced in Japan. DPF was firstly developed and commercialized in the world by utilizing the extrusion process in honeycomb manufacture and developing the material required to DPF, and approximately 80% of the world are produced in Japan, including overseas factory production. As an other ceramic filter, a diffusion plate or tube has been used for sewage disposal since prewar periods, and recently more advanced filter is being developed such as hydrogen filtration and so on.

In 40 years since fine ceramics was developed, Japan could lead the world both in production and technology. The main factors are the inherit of the technology of traditional ceramics, the national project composing government, industry and academy, the high level competition between many ceramic manufacturers, who are positive in development, and the excellent quality control and production management. However, these Japanese advantage are recently being threatened by the hollowing of domestic technology accompanying with shifting production and developing branch overseas, foreign large projects such as nano-technology and so on. In order to maintain the Japanese advantages, further continuing and persistent efforts covering government, industry and academy are strongly required.

■ Contents

1. はじめに	163
2. ファインセラミックスの概要	164
3. ファインセラミックスの技術発展と高性能化	168
4. 多孔質ファインセラミック	183
5. 自動車排ガス浄化用触媒担体（ハニカム）	188
6. ディーゼル・パーティキュレート・フィルター（DPF）	195
7. セラミックフィルター	200
8. 多孔質ファインセラミックス技術の系統化	204
9. 考察及びまとめ	206
多孔質ファインセラミックス登録候補一覧	208

4 肥料製造技術の系統化

Historical Development of Fertilizer Production Technologies

牧野 功
Isao Makino

■ 要旨

世界の人口は 20 世紀はじめの 16 億人から、この 100 年間で 65 億人まで急増した。この大幅な人口増加から生じる深刻な食糧問題に解を与えたのが、空気中に無尽蔵に存在する窒素の固定によるアンモニア製造、それを原料として製造される尿素等化学肥料の普及であった。20 世紀初頭ハーバー博士が成功したアンモニア合成技術の発明は、社会の期待に見事応える画期的な出来事となった。この合成技術を出発点とするアンモニア工業は、触媒を用い高温・高圧下、腐食雰囲気という厳しい条件を技術面で克服することにより実現され、その後の化学工業の原点に位置づけられる。

欧米で広がったアンモニアを原料とする化学肥料の生産は、日本でも約 10 年遅れという短期間でキャッチアップされ実現された。その成功の背景にそれを必要とする国内の客観情勢があったとはいえ、産業勃興機運の中で国家発展に人生をかけた起業家、技術者の存在が見逃せない。

その後国内のアンモニア・尿素工業は化学工業の基幹産業として盛衰を味わう。国内肥料の需要に応えるのみならず、輸出産業として昭和 30 年から 40 年代には国の高度成長の一翼を担う地位を築いた。しかし安価な原料ソースを持たない国内肥料業界は国の支援を受けながらの懸命な合理化にもかかわらず、次第に競争力を失いシェアを失っていった。この間業界各社は原料転換合理化を進める一方、技術開発にも活路を求めた。その中で競争力を誇る日本発の尿素技術が生まれ、また材料、機器・回転機、計装・計器等メーカー各社で独自性のある優れた技術が生まれた。各社に技術オリエンテッドな企業基盤を植えつけたこともその後のモノ作りに大きく役立った。振り返ってみて追い詰められた窮状の中での技術開発だったからこそ、世界に冠たる技術が生まれたとも言える。残念ながら国内のアンモニア・尿素生産そのものは殆ど消滅してしまったが、その一方で、そこで生み出された各種優秀な技術がエンジニアリング会社、機械メーカーによりプラント及び機器の形で輸出され、技術立国日本の発展に寄与している。

本調査は肥料というタイトルの下、技術的にもまた社会的にも重要な位置を占めた、アンモニア・尿素技術に対象の焦点を合わせて、その実現当初から現在までの技術開発の流れ及び社会との関連をまとめた。技術開発がなされた背景、経過等調査すると共にそこに貢献した様々な人物にもスポットライトを当て、また日本発の技術にも注目した。

次にアンモニア・尿素技術の原理を明確にした上で、各工程の概要とそれらを支援する重要技術、機器それぞれについて調査を実施し、それらの調査に基づいてアンモニア・尿素技術の系統化を多面的視点から試みた。最後に今後の技術進展を展望するとともに、他分野への用途拡大の可能性を調査し、今後共社会に大きなインパクトを与えうる可能性を確認した。

■ Abstract

The Haber process for synthesizing ammonia gave us a vital tool for tackling the serious agricultural issues arising from the 20th century's population explosion, when the world's population sharply increased from 16 to 65 billion, enabling chemistry to answer the hopes of human society. Ammonia production utilizing nitrogen fixed from the air, which exists there in unlimited quantities, needed sophisticated techniques such as catalysts, high-temperature and high-pressure operation, and corrosion atmospheres, which were successfully overcome at the industrialization. Therefore, the ammonia industry was called the origin of the chemical industry.

While the production of chemical fertilizer started in European countries, Japan caught up within a short period of ten years. This success was brought about by many entrepreneurs and scientists/engineers who hoped for the strong development of this country, in addition to the need for fertilizer in Japan. Thereafter, the domestic ammonia and urea industry experienced prosperous times as the principal industry in chemical manufacturing until it suffered a prolonged downturn. The domestic fertilizer industry, not only by responding to domestic demand but also by acting as an exporting power, built up a position as a major contributor to the high growth rate of the country from the 1960s. However, without cheap indigenous raw materials, the domestic fertilizer industry

gradually lost out to worldwide competition, in spite of its best efforts to revive its competitiveness. The industry proceeded with the conversion of feedstock to cheaper materials, concentrating on technology development to find out a way out of this predicament.

In due course, urea technology that was competitive in the global arena was developed, and sophisticated technologies were born at various manufacturers such as specialists in materials, equipment and rotary machines, and instruments/instrumentation. Furthermore, such manufacturers were able to become technology-oriented companies, which contributed to stronger capabilities worldwide. It is said that developed technologies recognized as being globally competitive were born in such a very severe atmosphere. Though fertilizer production itself was unfortunately over in Japan, various kinds of technologies that were developed along the way contributed to Japan's stance as a technology-oriented country and planted the seeds for it to become an exporter through its engineering companies and manufacturers.

This survey, under the title of "fertilizer", was carried out focusing especially on ammonia and urea technology which is important, from not only the technical but also social viewpoint. The history of technology development, from the beginning of industrialization up to the present, was investigated in relation to social movement, namely against the background and progress of technology development and also the persons who contributed substantially to it. The fact that many innovative technologies were developed in Japan was especially highlighted. On the basis of understanding the principles and structures of ammonia and urea technology, investigation of not only each step of the plant's process, but also important elemental technologies and equipment that support the process, was the major task to summarize and conclude this survey effort. Finally, possibilities for future technologies development were observed, and the fact that technologies can contribute to various areas such as hydrogen generation, highly efficient power generation, and substitute fuel production for future society was also confirmed.

■ Contents

1. はじめに	211
2. 肥料と工業化黎明期	213
3. アンモニア・尿素製造技術と発展の歴史	228
4. 今後の技術開発の展望と他分野への利用拡大	263
5. アンモニア・尿素技術の系統化と考察	265
6. おわりに、謝辞	269
資料1：登録候補一覧	269
資料2：アンモニア：尿素の主な年史	270