

発電所温排水を利用した海水の淡水化実験

栗 須 正 登*
Masato KURISU

Key Words: Fluid Mechanics, Hydraulic Machine, Thermal Engineering Equipment, Energy Engineering, Ocean Engineering, Electrical Engineering

1. まえがき

著者らは、プロジェクトを作り1980年7~8月、日本海・島根沖で海洋温度差を利用した海水淡水化の基礎実験に成功^{(1)~(8)}した。海洋エネルギーの利用も有望であるが、発電所温排水のエネルギーもその量が膨大なものであり、これの有効利用が有意義なことは多言を要しないところであろう。現実の問題として、洋上エネルギープラントの建設には、多額の建設費を必要とする。このような見地から、陸上で利用可能な発電所温排熱のほうが有利なことに着目して、九州電力・大村発電所で海水淡水化の実験を、島根沖洋上での実験装置と全く同じものを用いて実施(1980年11~12月)した。

前述したように、島根沖と大村発電所とは全く同じ実験装置を利用しているので、島根洋上実験の概要も合わせて述べることにする。

幸いに、海水淡水化については、アメリカのO.S.W.で精力的な研究が進められ、また、我が国においても大形(ナショナル)プロジェクト研究として取り上げられ技術の飛躍的な進歩を見た。本研究は、海洋温度差や発電所温排水と組み合わせる点でほかに例を見ない。この種のエネルギーは、その量が膨大でありプロジェクトは、その有効利用の実証に意欲を燃やしている。

2. 海水淡水化の原理と問題点

プロジェクトは、海洋温度差や発電所温排水など、低温度差利用の研究^{(1)~(8)}をしている。以下、

原理の説明は海洋温度差を用いるものとして説明を行う。

2.1 海水淡水化の原理 海洋温度差利用の海洋淡水化の原理は、図1に示すように簡単で(実際に問題点が生ずるがこれについては後述する)、表層の温海水(27°C 夏場)を密閉容器に入れて、この容器の空気を抜いて真空にすれば、0.03 atmで沸騰を始める。ここで発生した水蒸気を別の容器に導き、海底よりくみ上げた冷海水で冷却すれば蒸留水が得られる。

図2が淡水化の実験装置で、この特性をつぎの図3に示した。計画温度差27°Cに対し、その造水量は2.2 l/hを推定していたが、洋上で実験した場合25°Cに対して2.3 l/hの造水量が得られた。実験値が計画値より大きいのは、冷却水を多量に使用したためである。このとき使用した冷却海水量は200 l/hである。すなわち、造水量に対して約100倍の冷海水を使用したことになる。また、このときの温海水は冷海水の2倍の400 l/hを使用した。

2.2 低温度差淡水化の問題点 洋上淡水化の原理は図1で説明したように簡単であるが、実施

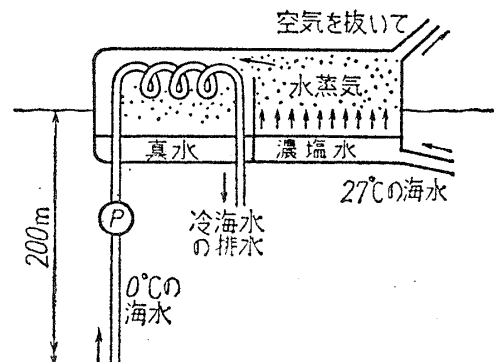


図1 温度差利用の淡水化の原理

* 正員、長崎大学工学部 (〒 852 長崎市文教町1-14)。

して見るとつぎの二つのような技術難点が生じた。

(a) 超高度の真空を必要とする。水は1 atmでは100°Cで沸騰し、富士山頂(約3000 m)に相当する0.64 atmでは80°C、洋上の海水温度25°Cでは0.03 atm(高度2万5000 m相当の超真空)でないとは沸騰しない。海洋エネルギー利用の技術上の問題点と言えば、真空との戦いといっても過言ではない。

(b) 海水中には少量の空気を含まるが、これを抜いて真空度を保つに要する動力が大となる。

3. 低温度差エネルギーの昇温による効率利用

前述の二つの問題を解決するには、温度を上げれば良い。図4は淡水化の前段に昇温サイクルを入れて、その後に海水淡水化を行うことを示した。小形・高効率で低価格のヒートポンプの出現は、この種問題解決の最大の技術課題と言えよう。

3.1 ケミカル昇温の原理 図5にその原理を説明したが、四つの密閉容器 A,B,C,D からな

り、A, Bには熱媒液(リチウム・ブロマイド・LiBr+水の混合液)が封入されており、C, Dは純水である。昇温はB室内で行われる。混合液は同温の純水よりもその蒸気圧が低いので、C室で発生した水蒸気を吸収する。したがって、B室ではC室の水蒸気が凝縮する。このときの凝縮熱と混合溶液の濃度が薄くなる(希釈する)ときの希釈熱(LiBr混合液の性質)の二つが加算されて昇温する。A室ではBと全く逆の作用が行われ、混合液の濃縮が行われる。A室の濃縮のためには、D室の冷却がどうしても必要である。ケミカル昇温の特徴の一つは機械的の圧縮や膨脹を行わず、これに相当する作用がケミカル(分子間作用)に作動させるため、その能率が良いことである。昇温すれば、前述の二つの難点が解決できる。洋上実験では25°Cの海水を40°Cに、また後述する大村発電所では、35°Cを50°Cまで昇温できた。

3.2 淡水化実験装置 図2に実験装置の写真を示し、また、図6はブロック図による説明である。大きく分けて、昇温部と海淡水部とよりなる。昇温部は四つの部屋(図5参照)より成り立ち、蒸発器からの蒸気が吸収器で希釈されるときに昇

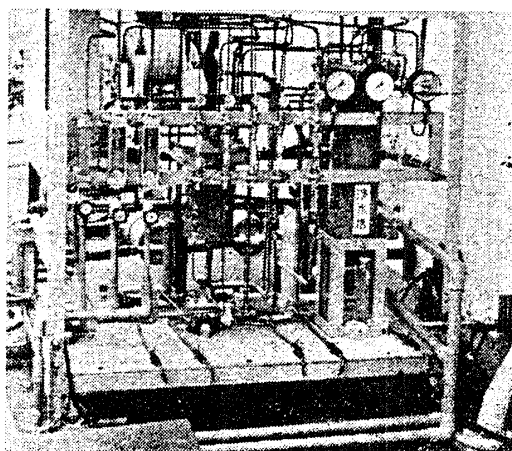


図2 海水淡水化実験装置

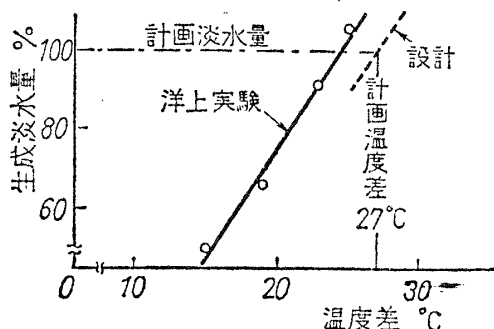


図3 海洋温度差海水淡水化の特性

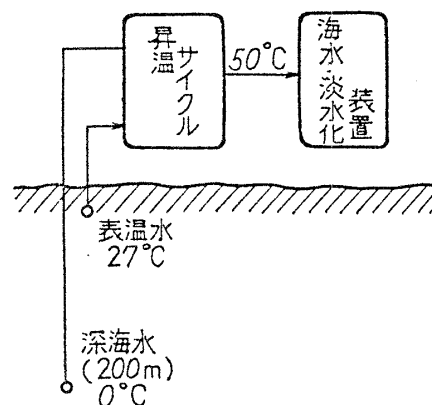


図4 昇温後の海水淡水化

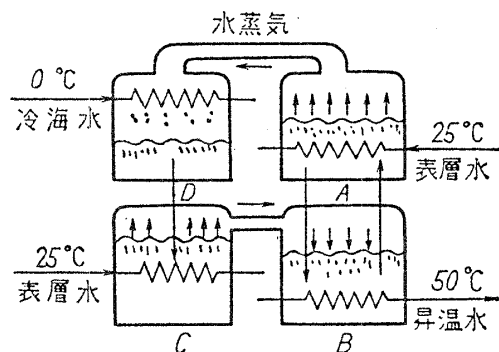


図5 ケミカル昇温の原理

温され、昇温水が海淡水部にはいりフラッシュ蒸発が行われ、海水淡水化が行われる。図5と図6において、それぞれA=蒸発器、B=吸収器、C=発生器、D=凝縮器である。

3・3 昇温装置の性能 図7(a)は温度差 ΔT と各部ヒートバランスを示した。実験範囲ではだいたい直線関係にあり、温度差 15°C 以下で装置が作用しないことがわかる。 15°C 以下で作用しなくなるのは、この装置には熱交換器が4個あり、これの伝熱損失の合計がこの値に近づくためと考えている。

図7(b)は温度差と LiBr 溶液の濃度%の変化を示した。 ξ_1 は吸収器 (A 室) 内の濃度であり、 ξ_2 はB室内の濃度である。いずれも温度差と直線関係にある。

図8は温度差と COP の関係を示した。ここで行った実験の温度差の範囲内では、一定の0.48の値を示した。 Q_G と Q_E が表層水 (温水) より取り入れる熱量であり、 Q_C は冷却へ与えられる熱量である。この熱を捨てて、加温水へ Q_A の熱量

表 1 海水淡水化の成績係数 (熱量比)

Q_A kcal/h	Q_H kcal/h	造水量 kg/h	$\frac{Q_H}{Q_A}$
1184	1170	2.00	0.988
680	676	1.17	0.994
561	558	0.97	0.995
250	240	0.41	0.960
255	250	0.48	0.980

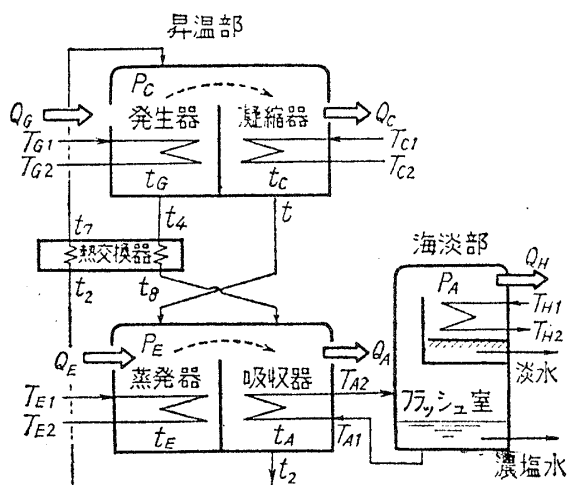


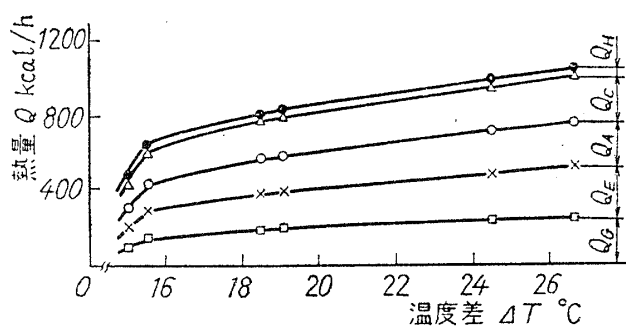
図 6 海淡水実験装置と各部の温度と圧力

が与えられる。

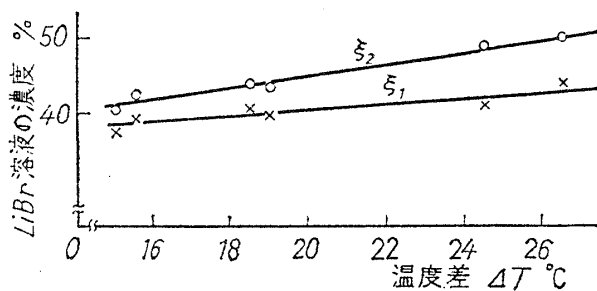
3・4 海水淡水化装置の性能 図6に、海淡水部の構造とそのヒートバランスその他を示した。また、表1はこれの成績係数である。同表から海淡水部へ流入した熱量 Q_A はほぼ全量造水 Q_H に利用されていると言えよう。設計点で循環ラインの流入量は 15 l/h で、入口温度は 48°C 、出口温度は 35°C である。造水量を変えるともちろんこれらの値は変わるが、表1からわかるように成績係数にはほぼ変化がない。

4. 島根沖洋上海水淡水化実験の概要

日本海底にはシベリア大陸の雪解けの冷海水 (約 0°C) が、ほぼ無尽蔵に蓄えられており、一方、



(a) 温度差と熱量



(b) LiBr 溶液の濃度
図 7 実験装置の性能

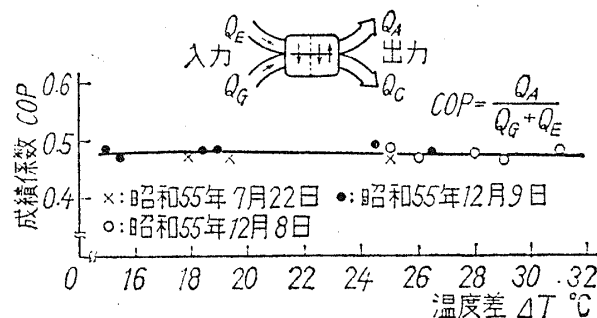


図 8 温度差と成績係数

黒潮の一部が対馬暖流となって流入し、対馬海域出口 (=日本海入口) の表層は 27°C (夏場) の温海水があるため、わずか 200 m 水深差で他海域 (例えば、ハワイ沖では 663 m 水深を要する) に比べ、浅いのに大きい温度差が得られる⁽⁴⁾⁽⁹⁾。

プロジェクトは、海上保安庁より設標船 (かいおう・512 t) を譲り受けて、海洋実験船に改造した。図 9 にその状況を示した。冷海水は 6 in × 180 m のパイプラインを実験船の後方につるし、水深 192.5 m の海底よりポンプアップした。

図 10 に冷海水の揚水状況を示した。最大揚水量は 35 m³/h であり、このときのパイプラインの圧力損失は、水頭で 0.60 m であった。また、パイプ中の正味損失は 0.13 馬力で、消費電力は 0.16 kW であった。

5. 大村発電所温排水利用の海水淡水化

図 3 は、この実験に用いた淡水化装置の特性であるが、これよりわかるように装置が作動するには最低 15°C の温度差を必要とする。一方、この発電所よりは約 8°C 程度の温排水が出る。したがって、発電所の排水だけでは温度差が足りない。この不足分を太陽熱で補い、また、夜間は冷氣と温排水との温度差で補い淡水化の実験を行った。

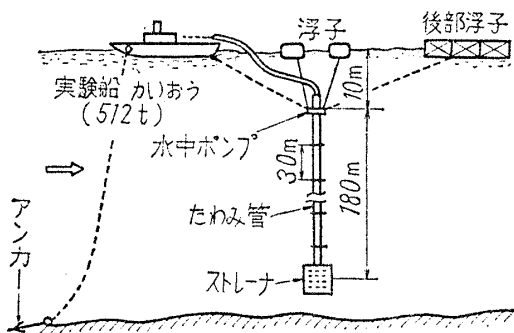


図 9 実験船および揚水パイプライン洋上で位置

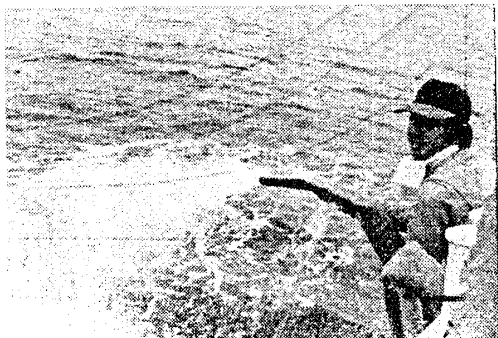


図 10 冷海水の揚水状況

図 11 は、1980 年 12 月 (この実験を行った期間中) の晴天日の海水や発電所排水温度の日変化を示した。この日、発電所は定格の 156 MW の一定で出力しており、このため排出温度は、冷却水 (約 27°C) より 9°C 高い約 36°C である。

(a) 夜間は温排水と冷氣 (湿球温度) との温度差は最大 23°C が得られる。これは海洋温度差とほぼ同じ値である。陸上でこのような温度差が得られることは、注目すべきことであろう。

(b) 昼間は温排水の 9°C に太陽熱の応援を得て 15°C 以上の温度差を作った。

5.1 温排熱とクーラポンド 図 13 のようなポンドを想定してクーラポンドと呼んでいる。このポンドでできた冷水と発電所の温排水 (図 14 参照) とを組み合わせて海水の淡水化を行った。図 2 のこの淡水化装置は洋上であれ、発電所排水であれ、要するに 15°C 以上の温度差があれば作動する。

図 15 に海水や気温などの月別平均温度を示した。同図の冷却水温と排水温度は、大村発電所の

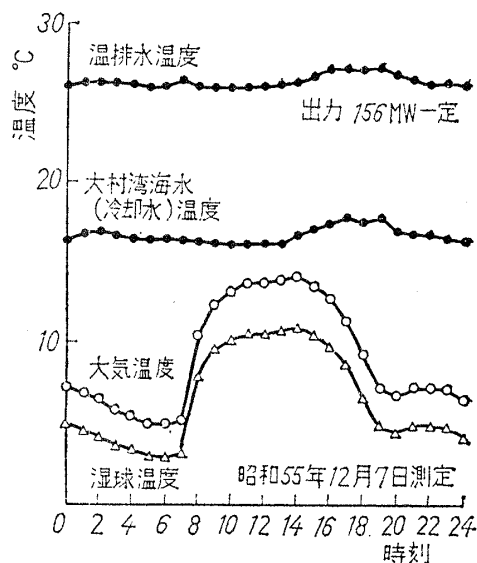


図 11 温排水および大気温度の日変化

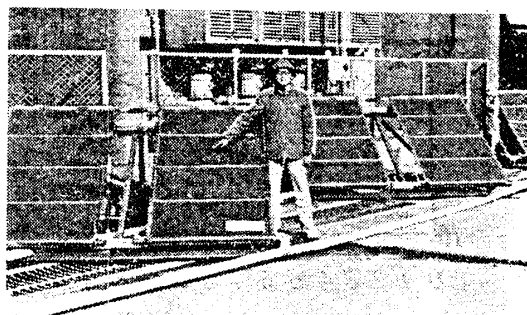


図 12 太陽熱集熱器の配置

記録であり、大気（湿球温度）は大村空港のデータである。

5.2 温排熱と太陽熱 温排水の温度差不足を昼間は、大陽熱で補って実験を行った。図12に示すように、集熱には家庭用のものを5枚用いている。

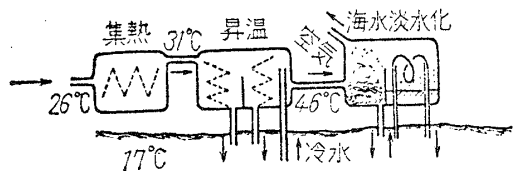


図13 温排熱と太陽熱

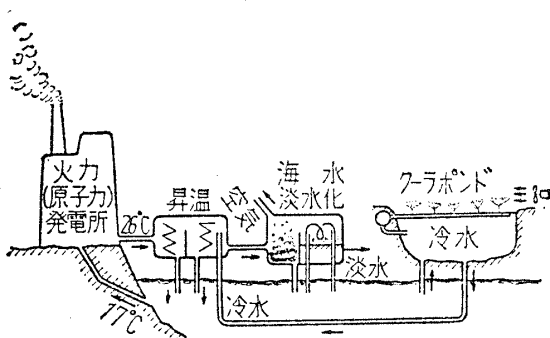


図14 温排熱とクーラポンド

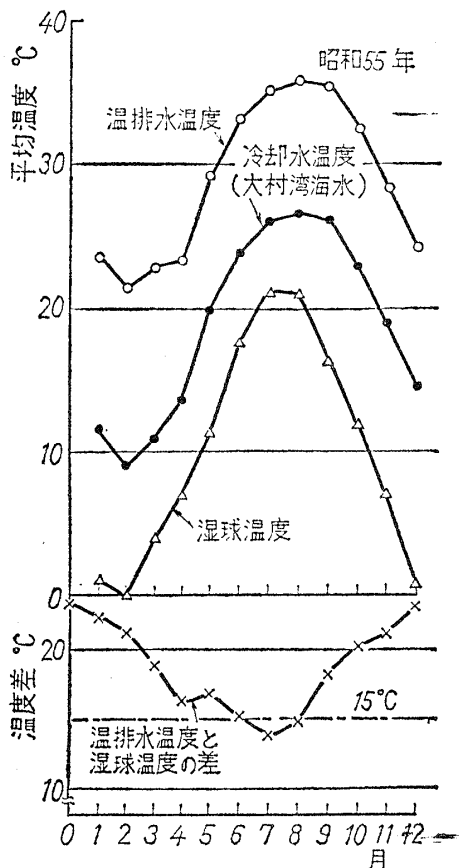


図15 温排水および湿球温度の月別変化

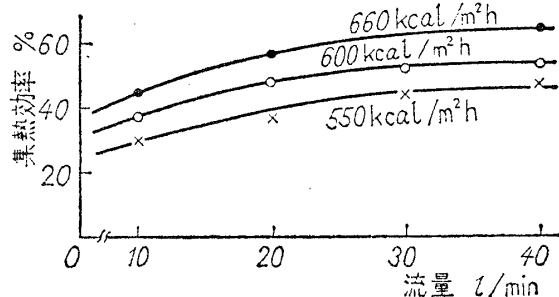
図13に全体の配置を示したが、洋上実験では昇温器に表層温海水を入れたが、ここでは温排水を太陽集熱器で加温したものを入れたのが異なる。

図16(b)は集熱器の流量と温度上昇の関係を示し、また、図16(a)は流量と集熱効率の関係を示した。両図よりわかることは、集熱器を通る流量が増加すると、温度上昇が下がることは当然であるが、一方、集熱効率は上昇する。集熱効率が上がる理由は、流量の増加とともに集熱器内に温水がとどまる時間が少なくなるためである。集熱器内では加温されるとともに一部は放出されるわけで、時間が小さいほど放熱量が減少するためである。ここでの実験結果は、この研究に重要な意味をもっている。すなわち、発電所排熱だけでは不足するので太陽熱で補足して、5°C前後温度上昇を期待しているが、この程度の集熱は能率良く行われることである。

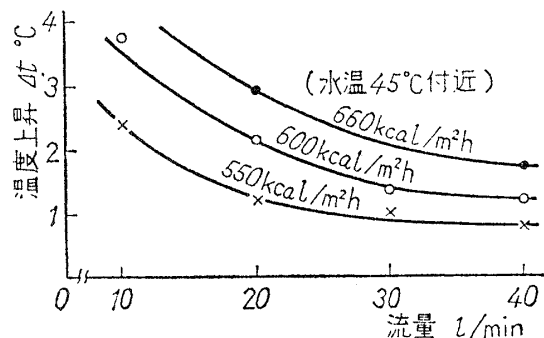
6. 本実験の反省とその将来性

海洋温度差エネルギー利用をめざして、洋上ミニ淡水化実験を行い、幸いに実験に成功した。また、陸上での実験も行った。

(a) いちおうこのような方式で発電所排熱利用



(a) 集熱効率



(b) 温度上昇

図16 流量と温度上昇

の造水が可能であることの実験ができた。

(b) 温度差が小さいので前段にケミカルヒートポンプを用いて昇温する方針を取った。

(c) 実験装置が小形 (2.2 l/h) であった。したがってこのような原理が可能であることの実証にはなったが、溶媒液の循環動力測定など実験データの信頼性になお不十分な点があった。

7. あとがき

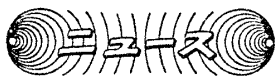
本実験の遂行に当たっては、各方面のご協力とご援助を受けた。九州電力・大村発電所の末吉所長以下関係各位が、この実験を心良くご許可くださったことをここに記して謝辞に代える。また、日立製作所日立研究所はこの造水装置を製作していただいた上に、実験にご協力賜った。長崎県環境部および企画部の各位には、県内の実験に適当な発電所の調査などについて格別のご尽力を賜った。

もちろんプロジェクトの共同研究者の各位には、実験やデータ整理など熱心にやっていただいた。共同研究者が多数におよぶためそれぞれ氏名を上げることができないが、各位に対して深く感謝の意を表するしだいである。

(原稿受付 昭和56年12月17日)

文 献

- (1) 栗須, 工業材料, 28-7 (昭 55-7), 12.
- (2) 栗須, OHM, 67-11 (昭 55-11), 106.
- (3) 栗須, 工業材料, 29-1 (昭 56-1), 44.
- (4) 栗須・ほか4名, 長崎大学工学部研究報告, 16 (昭 56-1), 19.
- (5) 栗須・ほか3名, 機講論, No. 813-4 (昭 56-7), 123.
- (6) 栗須・ほか5名, 長崎大学工学部研究報告, 17 (昭 56-7), 9.
- (7) 栗須・ほか2名, 長崎大学工学部研究報告, 17 (昭 56-7), 17.
- (8) 東・ほか2名, 長崎大学工学部研究報告, 17 (昭 56-7), 29.



歯車製造業の構造改善計画発足

日本歯車工業会は通産大臣から認可された「歯車製造業の構造改善計画」を61年3月末までの5箇年間の期限でスタートさせた。

このため、具体的な推進・中核母体となる構造改善計画推進委員会を同工業会内に設置、参加企業7グループの代表からなる18名の同推進委員を選任した。同委員は近く初会合を開いて構改の最大の目玉である電算機の共同利用システム開発をはじめ、品質の向上や新製品の開発、設計・製造工程の自動化と省力化技術の開発など、ソフトウェア面を重視した事業について具体的方法や推進の方策について検討していく。ところで、歯車製造業の構改計画は56年末中小企業近代化促進法に基づいて歯車工業会が中心となって策定したものである。それによると参加企業は117社(うち中小企業が111社)で、設備新設の所要資金357億円である。参加企業は関東、関西、東海、九州など7グループに分かれ61年3月末までの5箇年間の期限としている。

構改事業の主な柱は、①新商品、新技術の開発、②生産、経営規模の適正化、③取引関係の改善、④従業員の福祉向上、消費者、利益増進——の四つである。

とくに電算機システムの共同利用を掲げ、経営管理と生産システムの電算化を推進することになっている。具体的には需要予測をはじめ、在庫管理、原価計算の標準プログラム、工程管理、設計技術、歯車の強度計算などのプログラムを整備し、端末機を通じて計算センターのプログラムを共同利用する。電算機の共

同利用を構改事業として取り上げるのは歯車業界が初めてといわれる。それだけに「今回設置した構改推進委員会ですら最初に提起して、検討を加えらるとともに同委員会内に専門技術者からなるワーキンググループとも言うべきコンピュータ利用小委員会を設けて具体化していく」と意欲的である。

なお、構改計画推進委員は次の7グループ(括弧内は参加企業数)18氏である。

▽東 部 (20社) = 峰尾清見日本ギヤ工業常務、森俊雄モリコー社長、古川義明古川ギヤ工業社長。

▽関 東 (22社) = 遠藤光男遠藤歯車製作所社長、岩崎健二小名木川ギヤ社長、小原信治小原歯車工業社長。

▽城南歯車工業協同組合 (6社) = 佐久間崇源トヨフク社長。

▽東 海 (13社) = 井上 甫デルタ工業社長、日下一夫日下歯車製作所社長。

▽関西・東 (25社) = 田中榮蔵大阪歯車工作所社長、牧村武次シンコー製作所社長、児玉武雄八竜歯車工作所社長。

▽関西・西 (21社) = 山岡浩二郎神崎高級工機製作所社長、神田忠通神田鉄工社長、辻 留治協和製作所社長、川村春之進三輪工機専務、植田一郎植田鉄工社長。

▽九州 (8社) = 木田虎彦小倉鉄道社長。

【服部 敏夫】