難削材の研削加工の改善に関する研究 (第1報)*

—ジェット液圧と研削液の影響—

貴志 浩三** 江田 弘**

Study on Improvement of Grinding Operation for Difficult Material to be Cut
(1st Report)

—Effect of Jet Pressure in Grinding Fluids of Four Kinds—

Kōzō KISHI, Hiroshi EDA

In this investigation, surface grinding experiment has been carried out to evaluate the influence due to jet pressure of grinding fluids on grindability such as residual stress and changed structure in grinding layer, and excess cut, that is concave shape, at the central portion of ground surface is observed. And the residual stress and concave shape are investigated in relation to the grinding temperature, most influential dominating factor of this. A summary of the results are shown below.

- (1) As the jet pressure of grinding fluids changes from 0 kg/cm² to 6 kg/cm², residual stress, the amount of excess cut and grinding temperature are shown about constant value.
- (2) As the jet pressure of grinding fluid (the fluids containing sulfurized oil and spermwhale oil) changes from 0 kg/cm² to 18 kg/cm², reduction of changing value of residual stress in grinding layer is shown about 50-80%, and then the amount of excess cut could hardly be observed.
- (3) It can be seen that change of the grinding temperature, residual stress on grinding surface and the amount of excess cut are in good corresponding relation with the change of jet pressure of grinding fluid.
- (4) As the jet pressure of grinding fluid changes from 0 kg/cm² to 18 kg/cm², reduction of hardness and depth of the hardness distribution in hardened layer are shown about 20-40%.

1. 緒 言

本研究は研削点に研削液をジェット注入し、その効果により研削点に生じている研削熱を奪い去ると同時に潤滑効果をより与えることによって難削材の研削加工層の向上をはかることに主目的をおいた。

すなわち、研削加工層の残留応力ならびに組織変化に関して著者らは被削材の各種合金元素¹⁾や介在物²⁾などによる金属組織的な要素と研削温度や研削抵抗³⁾などによる機械的な要素による生成機構をわけてとりあげ、これら両面から検討を加えてきた。なかでも特に加工層の残留応力分布深さと変動範囲に対して大きな影響を及ぼし、かつその組織変化に対しても、たとえば α マルテンサイトを β マルテンサイト、ソルバイト、トルースタイトおよび α フェライトなどに分解する^{4),5)}ことなどに対して前述の因子との関連において解析してきた。

そこで、これらの因子である研削温度と研削抵抗が何か機械的な操作を導入することによってそれぞれを独立的にあるいは相対的に変化することが可能になれば、これらやっかいな研削加工層の解析はきわめて容易になることが考えられる。そこで一方法として研削温度と研削抵抗の熱伝導範囲と変形領域をある限定された領域に制御できないかと考えた。したがって、これが可能になればこれによって影響を受ける研削加工層の残留応力分布と組織変化はこれにともなった変化を示すことが見込まれる。

ここに、本報は研削点に発生している研削熱の工作物内部への伝導範囲を制御するために、研削液圧と研削液を種々変えて、研削液を研削点にジェット注入し、これによる効果を実測した研削加工層の残留応力と組織変化および研削面の中低量に対してまず検討を加える。そして、さらにこれと主に研削温度、研削抵抗および仕上面あらさとの関連において吟味検討する。

2. 実験装置と方法

*原稿受付 昭和46年8月9日。昭和45年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和45年10月7日)にて発表。

**正 会 員 宇都宮大学工学部(宇都宮市石井町 2753)

表 1 被削材の化学組成 (重量百分率)

	C	Cr	Ni	Si	Mn	S	P
No. 1	0.03	20.00	15.40	tr	1.52	0.01	0.007
No. 2	0.54	16.00	tr	tr	0.58	0.01	0.008

表 2 研 削 液

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Vis(a) 30°C cst	17.0	17.0	19.8	19.8
引火点 (°C)	150	150	150	150
塩素分 (%)	0	0	0	0
全硫黄分 (%)	1.1	2.0	1.7	2.57
活性硫黄分 (%)	0	0.9	0.32	0.87
油脂分 (%)	0	0	3	3
活 性 度	1	4	2~3	4

実験に供与した被削材は炭素鋼に比べ、熱伝導度が40%も低く、かつ被研削性が悪いオーステナイト系ステンレス鋼ならびにマルテンサイト系ステンレス鋼を選んだ。これらはともに入念な拡散処理を施し、結晶粒を調整した後100mmのピレットから大きさ75×15×15mm³ (研削長さ×研削幅×厚さ) の寸法に切り出し、No. 1材については1100°Cから水冷、No. 2材は870°Cから炉冷を行なった。表1はその化学分析値を示す。

つぎに、実験は図1に示す装置を用い、研削液整流槽①の研削液を歯車ポンプ (主軸回転数 1450 rpm, 最高圧力 50 kg/cm²G) ②で吸入し、サージタンク③に送る。

① 研削液整流槽 ② 歯車ポンプ ③ サージタンク ④ 圧力制御弁
⑤ ジェット注入弁 ⑥ ジェットノズル ⑦ 研削動力計 ⑧ ドレッシング装置 ⑨ 動ひずみ計 ⑩ 電磁オシロ ⑪ 研削液溜 ⑫ マノメータ

図 1 実験装置

この時圧力制御弁④によってジェット液圧を所定圧力に制御し、研削盤の始動準備も整える。そして研削盤を作動すると同時にジェット注入用の始動弁⑤を開き、研削点にジェット注入しながら研削を行なう。この時ジェット液圧は研削点より10 cm ジェットノズル側に寄った定位置でピトー管 (孔径 0.65 φ, ピトー管係数 1) によって動圧を水銀マノメータ⑫で測定した。ただし、ジェットノズルの位置は研削点から30 cm 離れたテーブル運動方向にあり、注入角度は研削面に対して5°である。

そして、研削時に研削抵抗を試作の研削動力計⑦によって、また研削温度は被削材とコンスタンタン線で熱電対回路を構成し、直記式電磁オシログラフ* ⑩を用いて同時記録せしめた。この時の研削条件は、砥石: WA 46 HmV, 砥石周速度: 1820 m/min, 工作物速度: 5~18 m/min, 砥石切込み: 10~70 μ, ドレッサ送り速度: 0.6 m/min, ドレッサ切込み: 10 μ×2 回, 研削液: 表2のもとで実施した。

つぎに、研削加工層の残留応力分布はX線ひずみ計¹⁾を用いて研削面中央部のそれを求め、さらに研削面の中凹状の検出は電気マイクロメータを利用した平面度測定器によっておのおの実測した。ただし、本報の研削加工は一定の前加工条件で工作物を仕上げた後、1回の下向き研削を実施して得られる場合である。

3. 実験結果とその考察

3.1 研削加工層の残留応力

ジェット液圧が増大すると研削熱を奪う単位時間当りの除去熱量は漸次大になるから、工作物内部の研削温度の分布範囲は次第に研削点近傍に限られるようになることが考えられる。したがって、研削温度分布によって支配される熱残留応力分布もこれに対応した変化をとる³⁾ことが予測される。

図2は各種研削液 No. 1, 2, 3, 4 においてジェット液圧を 2 kg/cm² から 18 kg/cm² に増大した場合の残留応力分布を示している。図から、ジェット液圧が大になると研削面の残留応力値と加工層内部のその変動値ならびにその分布深さはともに著しく減少する

*横河電機製作所製, 振動子 G 170 B, 電磁制動度 $r=0.7$ とした。

被削材 No. 2, 工作物速度 13 m/min, 砥石切込み 50 μ

図 2 研削加工層の残留応力分布

ことがわかる。またこの減少は研削方向に限らず三次元的に工作物のあらゆる方向の残留応力分布に対して認められ、いずれの方向にも引張残留応力を次第に零に近づけるような減少傾向を示している。しかし、このジェット液圧の増加による残留応力の変化はある液圧で飽和点に必ず達することが予想される。これをみるためにジ

ェット液圧を $0 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で変え、図 3 に示すごとく、ジェット液圧による研削面の残留応力の変化値を調べた。これからすると研削面の残留応力はジェット液圧約 6.0 kg/cm^2 で一定値に達し、以下ジェット液圧の増加によるこの減少値はきわめて微小になることがわかる。またジェット液圧 $0 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ における減少値

工作物速度: 13 m/min, 研削液: No. 2, 研削材: No. 2

図3 研削表面の残留応力

は砥石切込み量の大小によってさほど大きな変動はみられず、この範囲において $15 \sim 30 \text{ kg/mm}^2$ の減少を示す。これに対して工作速度変化による影響は工作物速度が小になるほどジェット液圧 $0 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ の間の減少値は大になる傾向を示す⁷⁾。

つぎに、実験においては 60# スピンドル No. 1 の基油に硫黄、抹香皮硫化油などを加えているが、これは残留応力があるジェット液圧において飽和点に達した時に硫黄を添加することによって研削点の活性化を行ない、研削抵抗の変化をねらうことによって間接的には残留応力の変化を見込んだ。また抹香皮硫化油の添加は、たとえばジェット液圧の増加によって、研削点近傍の研削温度が低下した場合に、研削面表皮の塑性流動と仕上面あらさへの影響をみようとした。すなわち、ジェット液圧が増大し、仮に研削温度が低下すれば活性硫黄と研削点近傍の Virgin face の金属との反応は低下するから、これによって生ずるはずの反熔着性を有す反応生成物 (FeS) の生成量は減少することが考えられる。そのため摩擦係数は大になるから研削抵抗が増大することになる。もしもこれによって研削抵抗が大になれば、L.V. Colwell ら⁸⁾ が主張しているようにこの増加によって加工層の圧縮残留応力を大にすることになる。

いま、各種研削液を研削点にジェット注入した時にあらわれる法線および接線研削抵抗 F_n , F_t の変化の一例を図4に示す。研削液 No. 1 と No. 2 および No. 3 と No. 4 をそれぞれ比べると反応性に富む研削液 No. 2, No. 4 の研削抵抗 F_n , F_t はわずかに大になるが、ジェ

ット液圧を 2 kg/cm^2 から 18 kg/cm^2 にした場合、前述の予測とはまったく逆に減少を示している。この現象に関しては 3.2 節でさらに検討を加える。

つぎに、高級脂肪酸とオレインアルコールおよび高級アルコールなどのエステルである抹香皮硫化油は潤滑効果と油性が高いので研削温度が低い場合には研削面表皮の塑性流動を減じ、仕上面あらさが向上することが考えられる。図5は仕上面あらさの一例を示している。すなわち、図から研削液 No. 2 に対して No. 4 はジェット液圧 2 kg/cm^2 および 18 kg/cm^2 において、ともに良好な仕上面あ

図4 法線、接線研削抵抗 (F_n , F_t)

工作物速度: 13 m/min, 砥石切込み: 50μ , 被削材: No. 2

図5 仕上面あらさ

らさを示す。これからつぎのことが考えられる。つまり、研削液 No. 1 に硫黄および抹香皮硫化油を添加することによって、仕上面あらさの生成挙動に差があらわれてくるから、当然研削加工層の残留応力分布にもその影響があらわれてくるはずである。図 2 の 60 μ スピンドル油、すなわち研削液 No. 1 の残留応力分布はそれに 0.9 % 硫黄のみを添加した研削液 No. 2 とはあまり変わらないが、抹香皮硫化油を添加した No. 3, No. 4 に比べると、その変動値はきわめて減少している。特に、ジェット液圧が増大した 18 kg/cm² の場合の残留応力の変動値の減少は著しい。すなわち、各ジェット液圧 2 kg/cm² と 18 kg/cm² において硫黄添加による変動値は No. 1 に No. 2 を比べると、約 5 kg/mm²、No. 3 に No. 4 を比べると約 5~8 kg/mm² の減少にすぎないが、抹香皮硫化油の入った硫化油、すなわち研削液 No. 1, 2 から No. 3, 4 に変えるとジェット液圧 2 kg/cm² の場合、約 10~15 kg/mm²、ジェット液圧 18 kg/cm² になると約 15~25 kg/mm² とさらに大幅な減少を示すことになる。

3.2 研削面の中凹状

研削面の中凹状は研削熱が大部分を占める* ことを以前に示したが⁹⁾、この変化は本実験に使用した No. 1, No. 2 ステンレス鋼の場合には特に顕著で、たとえば予備的に 5 mm 以下の薄い厚さの板材で、かつ研削長さ 100 mm もある長尺材を研削すると、マグネットチャックから取りはずした後の板材 (No. 2) は両端を中央部より約 10 mm も高くしてそり、わん曲しているのが認められる。これは明らかに熱残留応力の影響によってあらわれるものである。ところで、この熱残留応力の分布範囲は図 2 に示したように研削表面下せいぜい 60 μ の深さの範囲に認められる程度で、この間において引張残留応力が著しい減少値を示す。そこでこの発生について考えると、研削時に研削熱によって過熱された研削面が一たん中凹状に熱膨張するために、引張熱応力が研削後の急冷によって一部引張残留応力として残留するために起こるものであるとみなされる。したがってこのような研削過程のもとでは研削時の工作物の熱膨脹の一部が設定砥石切込み量に対して余分に除去されることになる。そのため熱膨脹量のもっとも大なる研削面中央付近ではその量が最大になるため、当然設定砥石切込み量に対して最大の除去量を示すことになる。このため結果として図 6 にみられるような中凹状の変化を示すようになるものと考えられる。

*他にテーブルの浮上り量や八角形弾性リングの場所による剛性変化の影響などが含まれると思うが、本報はジェット液圧および研削液種によって変わる中凹状の変化量に限定している。

工作物速度: 13 m/min, 砥石切込み: 50 μ ,
被削材: No. 1, 研削液: No. 2

図 6 研削表面の中凹の記録例

ところで、先に研削液に活性硫黄を添加した場合ジェット液圧が大になれば研削抵抗が大になると考察したが、実験結果はその逆であった。ここにおいて、仮に前述のような工作物の熱膨脹量の大小が常に研削面の中凹状を形成する最大の因子であると結論されるとすれば、この理由は研削時に工作物の研削面表皮の熱膨脹量がジェット液圧の増大につれて、漸次減少したことに起因すると考察される。すなわち、ジェット液圧が大になり、研削液中の硫黄量の増加による研削抵抗の増加値より、研削面の膨脹量の減少にもとづく研削抵抗* の減少値のほうがよりこれを上回るものとみなされる。

つぎに、ジェット液圧変化による研削温度を実測し、これと残留応力および研削面の中凹状との関係を検討する。図 7 はこの目的から得た例である。ジェット液圧 0 kg/cm²、すなわち研削液を研削点の手前に流量 2.6 l/min で滴下している場合で、研削表面で最高温度** 470 °C をとり、研削表面下約 2.5 mm で 20 °C に至る。またジェット液圧 10 kg/cm²、18 kg/cm² になると研削表面のそれは約 220 °C と 180 °C になり、研削表面下約 1.0 mm でともに 20 °C になる。いま、このジェット液圧と研削表面の研削温度の関係を連続的に実測してあらわすと図 8 に示すようになる。ジェット液圧 0 kg/cm² から 7 kg/cm² に至ると研削面の残留応力の減少率が非常に

*乾式の研削抵抗 F_n , F_t 一般に研削面中央部で最大で、両端で最小となる。いわゆる中凹状の変化を示す。ジェット液圧 P_j が大になるにつれて中凹状の変化はみられなくなり、 $P_j = 6$ kg/cm² で終始一定値をとるようになる⁷⁾。

**研削表面温度は砥粒がステンレス鋼-コンスタンタン線熱電対の接点を除去した時の温度とする。測定方法は高沢¹⁰⁾のと同じ方式と同一である。

図 7 工作物内部の研削温度分布

図 8 ジェット液圧と研削点の研削温度

工作物速度: 13 m/min, 砥石切込み: 50 μ , 被削材: No. 2

図 9 研削表面の残留応力と最大中低量

緩慢な変化を示すようになり、ほぼ一定値約 250°C 前後に落ち着いてくる。このように研削温度の減少率はジェット液圧 7 kg/cm² 近傍でいわば飽和点に達しているとき変化を示すから、研削温度によって支配される研削面の中凹状もこれと対応した変化をとることが考えられる。図 9 に示すように、最大中低量の変化はジェット液圧と研削温度との関係に得られた結果とまさに比例関係を示すと同時に、研削面の残留応力とも比例してジェット液圧の増加とともに減少する傾向を示す。いずれにしても、研削加工層の残留応力ならびに研削面の中低量はジェット液圧約 6 kg/cm² 近傍でこれらがともに飽和点に達する。そして研削液の中では No. 4 においてもっとも良い効果を得ることができ、最大中低量において約 40~70%，研削面の残留応力において約 30~60% 程度減少させることができる。

3.3 研削加工層の組織

ジェット液圧が 0 kg/cm² の場合に研削点の最高温度が約 470°C 前後になることを先に示したが、組織的にみてこの程度の瞬間的な温度上昇による研削加工層組織の変質はほとんど考えられないと思う。図 10 は研削点に位置した近傍の組織で、素地組織との差はほとんど認められない。ただマルテンサイト系ステンレス鋼の研削面表皮の個々の結晶粒全体が除去されて、その跡に凹みのこん跡がみられる場合や個々の結晶粒が途中から除去されたような組織が認められる。これに対してオーステナイト系ステンレス鋼の場合には、結晶粒全体がとり去られたようなこん跡はみあたらないが、途中から研削されてその一部が残った結晶粒の組織が認められる。さらに、この付近における各結晶粒の塑性流動はマルテンサイト系ステンレス鋼にわずかに数 μ 認められる程度で、オーステナイト系ステンレス鋼にはほとんど観察されない。図 11 にその一例を示す。この様子はジェット液圧の大小にかかわらず、たとえばジェット液圧 18 kg/cm² と大になった場合でも 0 kg/cm² の時とほぼ同一であった。

つぎに研削加工層の硬さの変化を示す。図 12 はその実測結果で、オーステナイト系ステンレスの硬化深さは研削表面下約 70 μ で、ジェット液圧が 0 kg/

工作物速度: 13 m/min, 砥石切込み: 50 μ ,
研削液: No. 1, ジェット液圧: 0 kg/cm²

図 10 研削加工層の組織

工作物速度: 13 m/min, 砥石切込み: 50 μ ,
研削液: No. 1, ジェット液圧: 0 kg/cm²

図 11 研削加工層の組織

工作物速度: 5 m/min, 砥石切込み: 50 μ , 研削液: No. 1

図 12 研削加工層のかたさ分布

cm² から 18 kg/cm² になるとこれより約 10 μ 程度浅い位置に分布するようになる。マルテンサイト系の場合にもほぼ同一傾向を示すが、オーステナイト系ステンレス鋼よりは約 10~20 μ 程度さらに深くまで分布している。いずれにしても研削加工層の組織の変質はきわめて少ないが、オーステナイト系およびマルテンサイト系ステンレス鋼とともに研削面において $H_v=410\sim470$ で、素地の約 2 倍近い値の硬さを示し、著しく加工硬化した層を形成するが、それも研削表面下約 70~80 μ までの範囲において急激な変化を示す硬化層である。また、ジェット液圧 0 kg/cm² から 18 kg/cm² に至ると加工硬化は緩和され、その硬化度と分布深さは約 20~40% 程度の

減少を示す。

4. 結 言

本報は主に研削温度との関連において研削加工層の残留応力と組織変化ならびに研削面の中凹状の改善をはかるために、4 種の研削液を用いて研削点にジェット注入し、これによる効果を比較検討した。ここに本実験条件の範囲においてつぎの結果を得た。

- (1) ジェット液圧 0 kg/cm² から約 6 kg/cm² に至ると、研削加工層の残留応力はほぼ一定値を示す。そしてジェット液圧 0 kg/cm² に比べ、6 kg/cm² における残留応力の変動値は約 20~50% 程度、また研削面からの深さも約 10~50% 程度ともに減少する。
- (2) ジェット液圧 0 kg/cm² から 18 kg/cm² に至ると活性硫黄ならびに抹香皮硫化油を添加した研削液 No. 4 が研削加工層の残留応力の変動値を 50~80%、および研削面の中低量もほとんど認められない程度にともに減少する。

- (3) ジェット液圧 6 kg/cm²

近傍で研削温度約 250°C を示し、以後圧力を増大しても大きな変化は認められない。この減少は研削面の残留応力と最大中低量の変化と比例関係を示す。

- (4) ジェット液圧 0~20 kg/cm² の範囲において研削加工層の組織変化と塑性流動はきわめて少ないが、ジェット液圧 0 kg/cm² のマルテンサイト系ステンレス鋼において、研削面表皮に位置する個々の結晶粒が粒間で一部破壊が認められる。

- (5) ジェット液圧 0 kg/cm² から 18 kg/cm² に増大すると、研削加工層の硬化度とその分布深さは約 20~40% 程度ともに減少する。そしてその間の変化は研削面の残留応力にみられた変化と対応した減少傾向を示す。

本研究の実施に際して、研削液をいただいた日本グリース株式会社、ならびに実験結果の考察にご助言を賜った同社鈴木音作部長に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 貴志浩三, 江田 弘: 炭素鋼の層状のセメンタイト量が加工層に及ぼす影響 (第 1, 2 報), 精密機械, **37**, 2, 3 (1971) 112, 171.
- 2) 貴志浩三, 江田 弘: 高炭素クロム軸受鋼の被削性および加工表面層に及ぼす S, Se および Te の影響, 鉄と鋼 **57**, 13 (1971) 2141.
- 3) 貴志浩三, 江田 弘: 研削加工層の組織と残留応力の理論的解析, 日本金属学会誌, **35**, 9 (1971) 896.
- 4) W. König, H. Schreitmüller, F. Sperling, G. Werner & M. Younis: A Survey of the Present State of High Speed Grinding, Annals of the CIRP **XVIV** (1971) 275.
- 5) W. Junkel: Zur Frage der Haltbarkeit einteilliger hohlzylindrischer Kaltarbeitswerkzeuge, Industrie-Anzeiger, **93**, 28 (1971) 597.
- 6) H.D. Kein: Eigenspannungen in metallischen Werkstücken durch ein- und mehrmalige Spanende Bearbeitung, Industrie-Anzeiger **93**, 19 (1971) 414.
- 7) 貴志浩三, 江田 弘, 斎藤雅夫: ジェット注液研削の研究, 機械学会講演論文集, **700**, 5 (1970) 101.
- 8) L.V. Colwell, M.T. Smith, J.C. Tobin: The Determination of Residual Stresses in hardened Ground Steel, Trans ASME, **77**, 7 (1955) 1099.
- 9) 貴志浩三, 江田 弘: ステンレス鋼の高温研削加工, 精密機械, **37**, 7 (1971) 488.
- 10) 高沢孝哉: 研削面表層の温度分布の理論とその測定法—研削温度に関する理論的解析 (第 1 報)—, 精密機械, **30**, 11 (1964) 851.

情 報

(40 頁よりつづく)

こうした各メーカーの新技術, 新分野への進出のなかで注目されるのは, ここ数年前まで主流を占めていた外国との技術提携が目立って減ってきたこと. 24 社の届出のうち外国からの技術導入は不二越 (西ドイツ・ステヘリー社=生産ホブ盤, 内歯車スカイピングマシン) と豊和産業 (西ドイツ・マックスミウラー社=NC 旋盤), 豊和工業 (フランス・ベルチュ社=複合中ぐりフライス盤) の 3 社だけ, その他のメーカーはいずれも自社技術, 国産技術によって新分野の開発を進めており, 業界筋では「国産技術の水準もここにきて大きく向上してきたと高く評価しながら, こんごは NC 工作機械を中心に各分野で競争が激化するのでは…」と懸念している。

昭和 46 年度の機械振興協会賞

機械振興協会 (会長土光敏夫) はこのほど, 第 6 回 (46 年度) 機械振興協会賞の受賞企業と受賞グループを発表した。

それによると受賞企業は牧野フライス製作所 (社長牧野常造) など 3 社, 受賞グループはシャープ (産業機器事業本部長佐々木正ら 6 名) など 4 件, 計 7 件となつて

いる。

機械振興協会賞は機械工業の技術分野についての研究, 開発で独創性と経済性に富んだ業績をあげた研究者, 機械工業における新製品の創出, 製品の品質, 性能の改善などに大きな業績をあげた企業を表彰するもの。

受賞企業, グループはつぎのとおり。

▷ 牧野フライス製作所 (社長 牧野常造)=適応制御マシニングセンタの開発。

▷ 豊田工機 (社長 富田環)=GON 20-100 型適応制御円筒研削盤の開発。

▷ ダイハツ工業 (社長 伊瀬芳吉)=電気自動車の開発

▷ シャープ産業機器事業本部長佐々木正ら 6 名=超小型電子式卓上計算機の開発と量産化。

▷ 新日鉄堺製鉄所技術部長甲斐幹ら 16 名, 日立製作常務高木正ら 2 名=分塊工場総合制御システム。

▷ 小松製作所技術研究所第 1 研究室長吉沢平治ら 8 名=水中ブルドーザの開発。

▷ 川崎重工業神戸工場原動機工場長武田康生ら 20 名=高性能船用主推進タービンプラント開発。

(服部 敏夫)