

## 高級耐塩酸合金「HZ合金CL」の鋳物

日立造船KK技術研究所\* 山根寿巳

## 1. 緒言

すでに報告した<sup>(1)</sup>ように高級耐塩酸合金の組成<sup>(2)(3)</sup>を見だし、あわせてこの合金はすぐれた耐塩酸性と加工性および溶接性を有することを明らかにしたが<sup>(1)(4)</sup>、この新耐塩酸合金(HZ合金CL)を使用して鋳物をつくる場合、その基礎的資料がなく種々のトラブルが予想される。そこで本研究は鋳物を作る際に知っておかねばならない凝固開始と終了温度を測定し、流動性試験により鋳造性を判定し、一方収縮率を求め、これらの基礎試験結果をもとにインドに輸出したリン酸化学プラント用のポンプを鋳造したところ良好な製品をつくることができたのでその結果を報告する。

## 2. 金属材料および実験方法

## 2.1 溶解材料

溶解材料はその純度が実験結果に大きな影響をおよぼすことがあるので極力不純物の少ない材料を使用するように努め、ニッケル、クロム、銅、モリブデンおよび鉄は電解精錬したものを、タングステンはフェロータングステンを使用した。

## 2.2 溶解方法

前述した溶解材料を表1に示した配合組成に配合して基礎試験に対しては15kwの高周波誘導溶解電気炉で、ポンプについては、600kwの高周波誘導溶解電気炉で溶製した。これらの電気炉はマグネシヤセメントでライニングし、フラックスは酸化カルシウムを主成分とする塩

基性のものを使用した。溶解の順序はまずニッケルを溶解し、HZ合金CLの場合は次にモリブデン、フェロータングステン、銅の順に、市販耐酸合金の場合はモリブデン、タングステン、クロム、鉄の順に添加した。

HZ合金CLを鋳込む前にはチタンを0.5%添加し脱酸を行なわしめ、脱水素剤として、フオセコ社のニッケル合金用のリゼネックス、脱酸剤は同社のニッケル合金用のA6、最後に再脱水素剤L<sub>1</sub>を使用した。

## 2.3 造型方法

炭酸ガス鋳型を用い塗型の影響、焼付きとかすくすわれを防止するためにジルコンサンドをはだ砂に使用し、バックサンドは篠岡けい砂5号および6号を1対1の割合で配合した。けい酸ソーダの添加量はジルコンサンドに3%、篠岡けい砂に5.5%で、けい酸ソーダのモル濃度およびポーメは2.3ならびに53であった。

## 2.4 鋳造性試験方法

## 2.4.1 熱分析

6kgの湯を熔融状態に加熱してその中に白金—白金ロジウム熱電対をそう入し、高温から自然冷却させ、冷却する温度をけんすい形温度計で5秒間隔で測定した凝固温度を求めた。

## 2.4.2 流動性試験

表2に示した鋳込み温度から図1に示したうず巻形流動試験用鋳型に鋳造し、鋳造合金が凝固したあとの流動長さを測定した。試験用鋳型は炭酸ガス法で成型した後、200°Cで乾燥を行ない水分を除去したうえAとA'が重なり合うように上型と下型を合わせ所定の鋳込み温度より100°C高い溶湯を落差の変化に伴う実験誤差が生じ

表1 化学組成 重量%

	Ni	Cr	Mo	Cu	W	Ti	C	Si	Mn
HZ合金CL	残	—	20	1	3	0.2	—	—	—
市販耐酸合金	残	15.5	16	—	4	—	0.15>	1.0>	1.0>
SUS 41	12.2	22.25	—	—	—	—	0.07	0.94	1.49

\* 大阪市此花区桜島北之町60

ないように上型の湯だめに100mm高さに湯を注入し、所定の鋳込み温度になるとストッパーを抜き鋳造する。

図1の湯だまり（上型）にある底部の突起は鑄込みの際に生ずる溶湯のうず巻現象を防止するために設けられたものである。流動長さは湯口直下からうず巻鑄型の空間部を完全に充てんした状態で凝固した部分の長さで表示した。

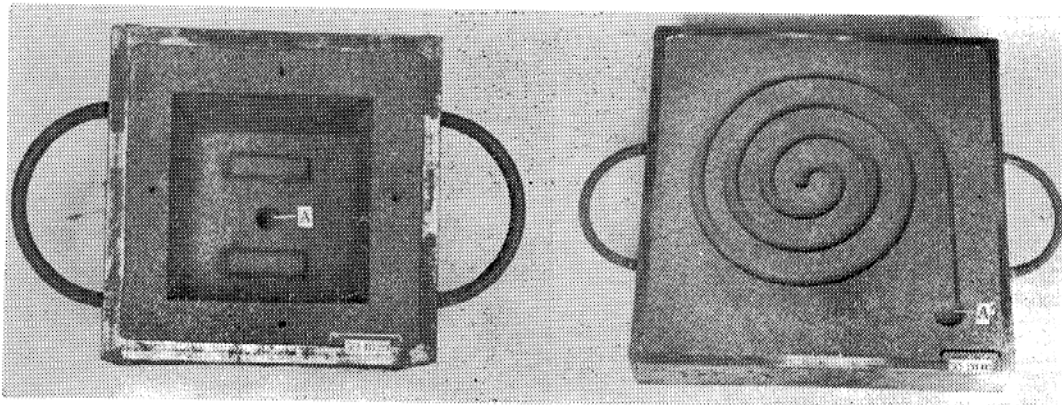
表2 流動性試験鑄込み温度

合金名	鑄込み温度 °C			
HZ 合金 CL	1.475	1.500	1.550	1.600
市販耐酸合金	1.450	1.475	1.500	1.550

2.4.3 鑄造収縮率試験

収縮率測定法には数多くの方法があるが筆者らは図2および図3に示した一段突起と二段突起を有する形の木型を採用し、一段突起では拘束のない形状をした鑄物を対象とし、二段突起は突起間における収縮に対する拘束を想定して2種類の試験を行った。

これらの試験片の鑄造は図4、5に示した方案に従って行ない、それぞれの鑄型に1600°Cの温度で鑄込んだ、収縮率はこの鑄放し寸法をマイクロメーターならびにノギスで測定して求めた。



(a) 湯だまり鑄型 (上型) (b) うず巻型 (下型)

図1 うず巻型流動性試験鑄型および湯だめ鑄型

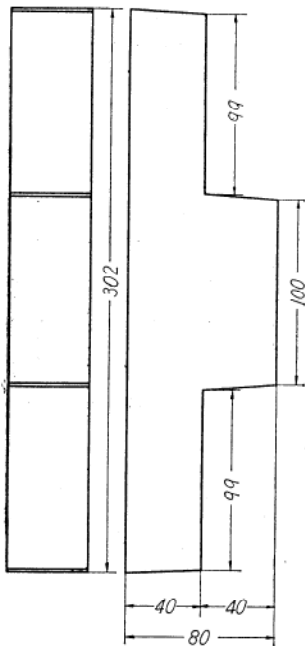


図2 一段突起木型

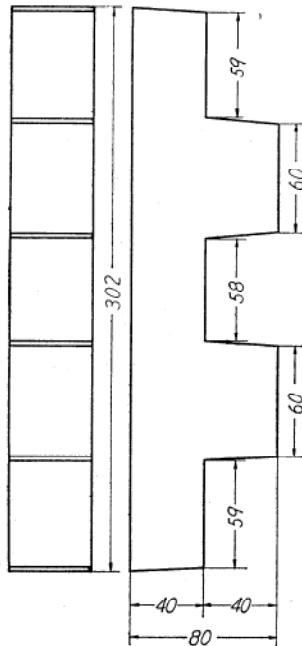


図3 二段突起木型

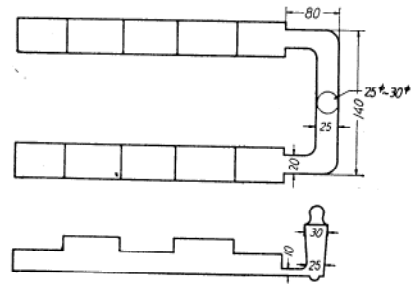


図4 一段突起鑄造方案

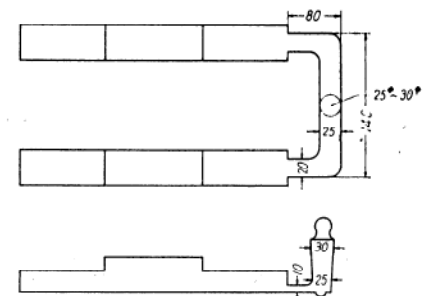


図5 二段突起鑄造方案

### 3. 実験結果

#### 3.1 熱分析

熱分析の結果によると HZ合金CL は1459°Cより凝固を始め1443°Cで凝固を完了している。したがってこの合金の凝固温度範囲は16°Cしかなくせまい。市販耐酸合金は1375°Cより凝固を始め1335°Cで凝固を完了している。したがってこの合金の凝固温度範囲は 40°Cである。HZ合金CL と市販耐酸合金を凝固温度範囲の数値の上からみると市販耐酸合金のほうが铸件としては適しているように推察される。

#### 3.2 流動性

図6は合金と市販耐酸合金の流動長ささと鑄込み温度の関係を示したものである。市販耐酸 HZ合金CL に比べ

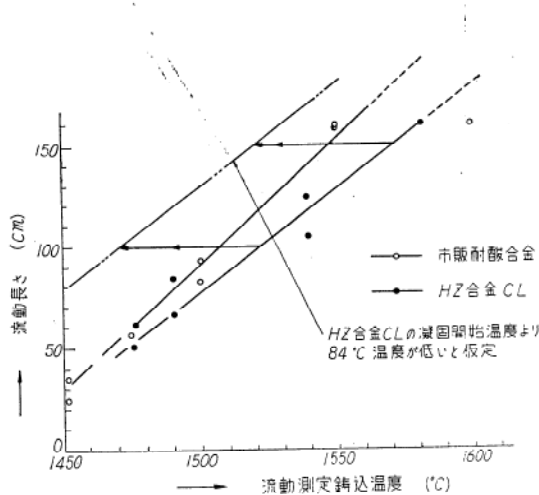


図6 流動性試験結果

て HZ合金CL の凝固開始温度は84°C高いので同じ鑄込温度の流動長さは HZ合金CL のほうが短くなっている。しかし凝固開始温度が同じと考え、図6の HZ合金CL の流動長さの直線を84°C低い左側に平行移動を行なってみると市販耐酸合金より流動長さが長くなる。鑄造性が良いということの一つは温度が高くなると流動長さが長くなる割合つまり、図6のこう配の大きいものが好ましい傾向にある。この点は HZ合金CL はやや劣ると言いうる。しかしながら鑄造温度を適当に選定することにより良好な鑄造品が得られることは期待できる。この流動性試験では1600°C鑄込温度から鑄込むと図1のうず巻全長にまで流れていた。

#### 3.3 鑄造収縮率

HZ合金CL を1600°Cから鑄込み凝固冷却した後のHZ合金CL 铸件寸法および木型の寸法を図7(a)(b)に示す。この図で( )のない数値は鑄型寸法であり、( )内の数値は鑄造して、室温に冷却後の铸件の測定寸法を示す。

図8は図7の値を  $\{ \text{収縮前の長さ (木型寸法)} - \text{収縮後の長さ (铸件の寸法)} \} / \{ \text{収縮前の長さ (木型寸法)} \}$  にて計算して示したものである。

これらの測定結果から鑄型の伸尺に使用する伸率は突起の背の平坦な一番長い部分の平均値  $(23.2/1000 + 24.8/1000 + 23.7/1000 + 23.7/1000) \div 4 = 23.9/1000 = 24/1000$  を用いるとよいと考えられる。

以上の基礎試験から铸件の大きさと、形状によって異なるが鑄込温度は1600°Cあたりが適していること、木型をつくるための伸尺は 24/1000を用いるとよいことがわかった。

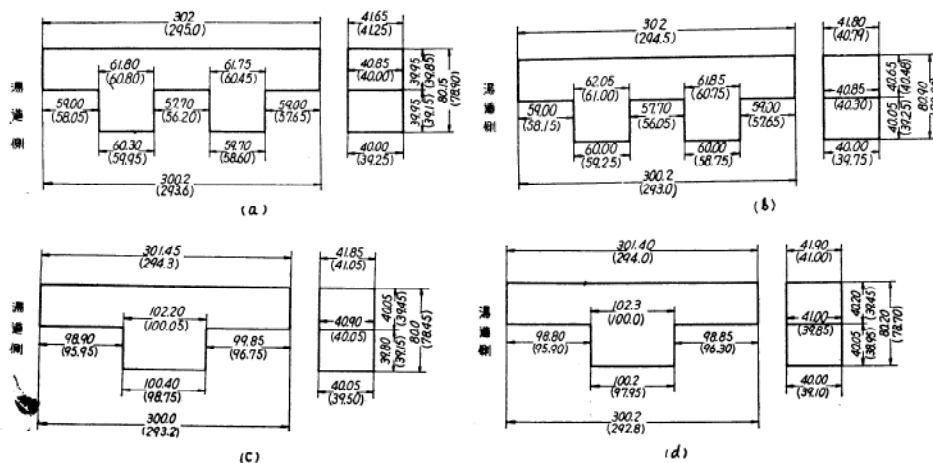


図7 鑄造縮みしろ測定結果

注：鑄込温度：1600°C，冷却：空冷

鑄型：CO<sub>2</sub> 鑄型，鑄はだ砂：ジルコンサンド

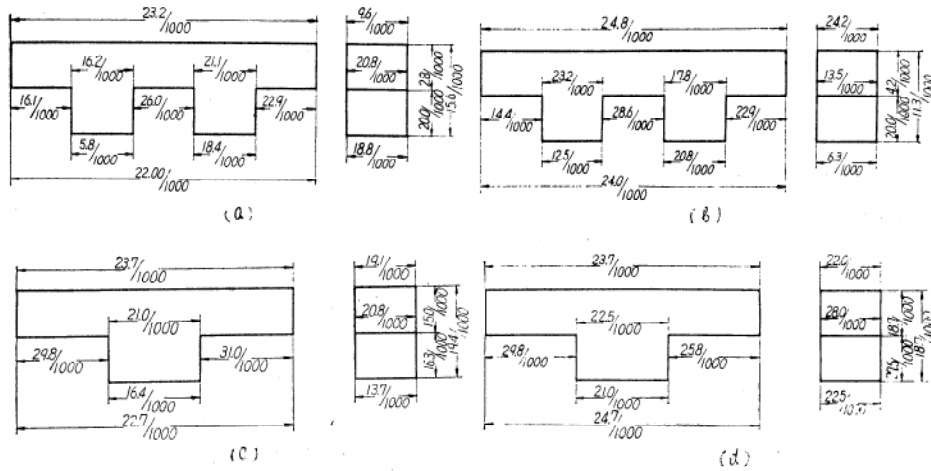


図8 鑄造縮みしろ測定結果

## 4. ポンプ 鑄造

### 4.1 リン酸ポンプ材としての合金の適正

従来リン酸ポンプとして使用されているのは高ニッケルクロム系のステンレス鋼である。このポンプに適する材料であるか否かはリン酸に対する耐食性と耐キャビテーションエロージョン性を調べればよい。図9はHZ合金CL, 市販耐酸合金および SUS41 を  $P_2O_5$  40% ( $H_3PO_4$  に換算すると53.7%),  $H_2SiF_6$  2%の混合水溶液と、 $P_2O_5$  40% ( $H_3PO_4$  に換算すると53.7%),  $H_2SiF_6$  2% および  $H_2SO_4$  2%の混合水溶液を作成し、液温 108°Cで腐食試験を行なった結果を示す。

図9におけるHZ合金CLの腐食量は非常に小さく厚さに換算して最大 0.052mm/year であり、市販耐酸合金、SUS41に比較してすぐれた耐食性を有していることがわかる。

キャビテーション・エロージョン試験を 40%  $P_2O_5$

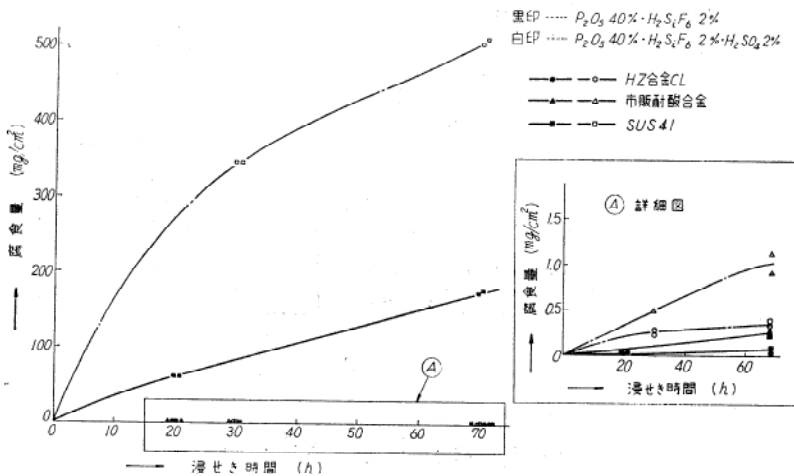


図9 リン酸溶液による腐食試験結果

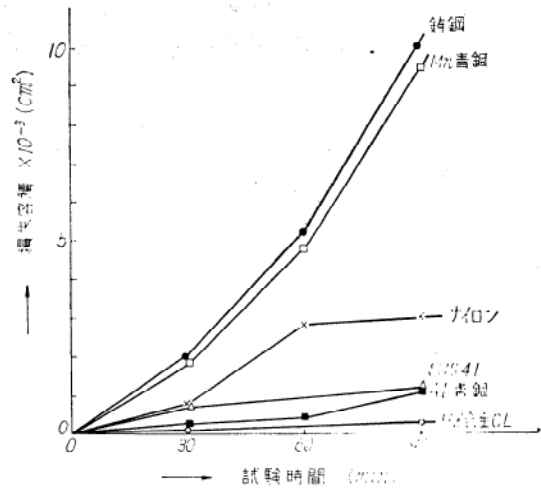


図10 キャビテーション・エロージョン試験結果  
注：HZ合金CLとは40%水溶液※他は蒸留水  
(※ $H_3PO_4$  に換算すると53.7%)

( $H_3PO_4$  に換算すると 53.7%) の室温水溶液で行った結果を図10に示す。この図から合金は耐キャビテーション・エロージョン性にすぐれており、耐キャビテーション・エロージョン性がすぐれているといわれているアルミニウム青銅よりもすぐれていることがわかる。以上両試験結果から合金はリン酸ポンプ用材料として実用に十分耐えうる!と判断される。

### 4.2 押湯および鑄造方案の決定と製品

ポンプ全体組立図の断面を図11に示す。このポンプのプロペラの鑄造について述べる。プロペラの仕上り



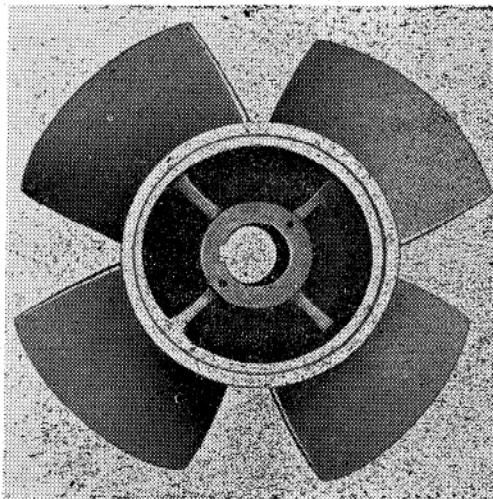


図16 プロペラ製品

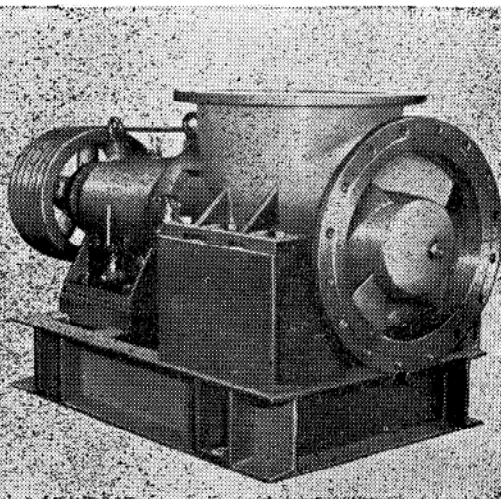


図17 ポンプ全景

子で埋めることを考え 100mm と仮定した. この円柱の体積は  $12\text{cm} \times 12\text{cm} \times 3.14 \times 10\text{cm} = 4500\text{cm}^3$

この本体に対する図14の横軸の  $\{L(\text{長さ} + W(\text{幅})) / T(\text{厚さ}) = 240 + 240 / 100 = 5(L + W) / T = 5$  に対応するこの図中の (押湯の体積  $V_r$ ) / (鋳物の体積  $V_c$ ) の下限値は 0.45 になる. プロペラの翼はボスである円柱の付属物と考える. 翼の部分の体積は大略  $10\text{cm}$  (長さ)  $\times 21\text{cm}$  (幅)  $\times 1.5\text{cm}$  (厚)  $\times 4$  枚  $= 1300\text{cm}^3$  Bishop の方法における付属物の本体体積に対する等価体積値は図15に示されるように (付属物厚さ) / (本体厚さ) で表示される.

この値は  $15 / 100 = 0.15$  で棒 (本体) - 板 (付属物) の組合せであるから, 図15の 0.15 に対する付属物の等価体積は 0.3 である. プロペラの翼の部分の本体に換算した体積は  $1300\text{cm}^3 \times 0.3 = 400\text{cm}^3$

したがって押湯の体積は  $(4500 + 400) \times 0.4 = 2000\text{cm}^3$

図13のような方案で押湯を立てるとその体積は

$$(15 + 11) / 2 / 2 \times 3.14 \times 20 = 2600\text{cm}^3$$

で, Bishop の方法で求めたのとほぼ同じ体積になる. この方案によるプロペラの鋳物製品重量は HZ 合金 CL の比重が 9.3 であるから  $(4500 + 1300) \times 9.3 = 5400\text{g} = 5.4\text{kg}$

押湯の重量は  $2600 \times 9.3 = 24000 = 24\text{kg}$

したがって (押湯重量 / 鋳物製品重量)  $\times 100 = 24 / 5.4 \times 100 = 44\%$  で, 図14で読んだ値 45% に近い値である.

木型製作の伸び尺は 24/1000 を用い, 基礎試験の時と同じ砂で, 乾燥鋳型をつくった. この鋳型はバーナーで約  $200^\circ\text{C}$  に予熱した. 鋳造温度を  $1600^\circ\text{C}$  にして鋳造を行なった. この押湯を切断したところ鋳物本体には引けずは入っておらず欠陥のない鋳造品を作ることができた. 機械加工仕上後のプロペラを図16に示す. 図17はケーシングと共に組立てたポンプを示す. このケーシング, シ

ャフト, その他ボルト・ナットなどの部品もプロペラと同様に鋳物によって作ったものである.

### 4.3 ポンプの性能

このポンプの特性を試験した結果を図18に示す. この試験は  $21^\circ\text{C}$  の水道水を用いて行なったが, その結果, 設計排水能力  $1074\text{m}^3/\text{H}$  に対してポンプ効率 76% という値が得られて, ポンプとしての能力を十分発揮することがわかった.

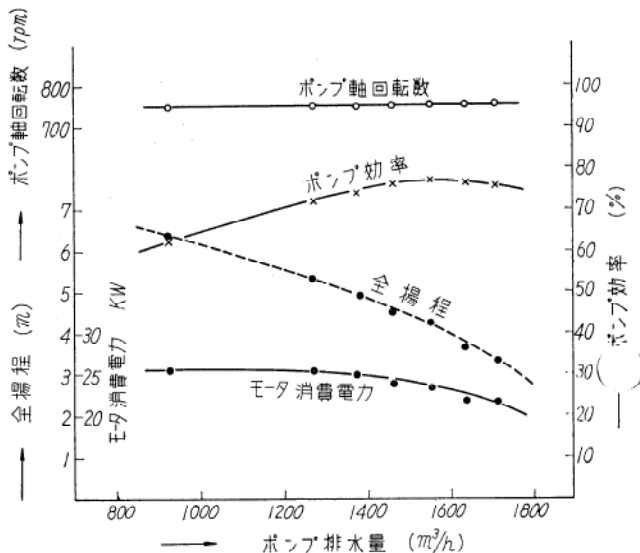


図18  $21^\circ\text{C}$  の水道水で試験したポンプの特性曲線  
注: 定格, 排水能力:  $1704\text{m}^3/\text{H}$ , 全揚程:  $2.8\text{m}$   
ポンプ軸回転数:  $730\text{rpm}$

## 5. 結 言

以上述べたように HZ 合金 CL は鋼鋳物と同じ考えて押湯をつけ伸び尺 24/1000, 鋳込温度を約  $1600^\circ\text{C}$  にして (以下36頁に続く)