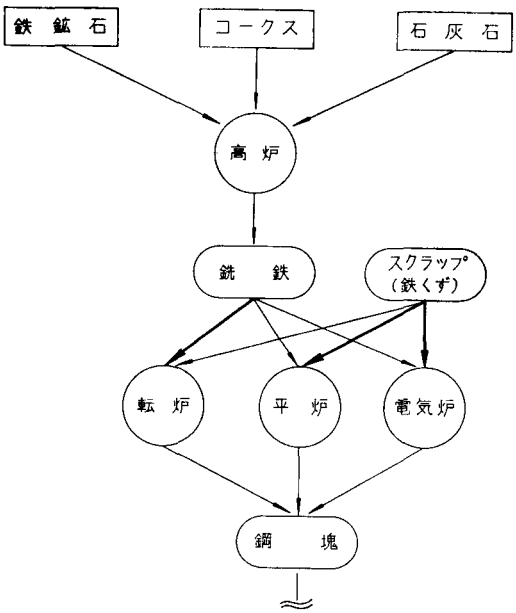
経営科学 第10巻 第4号（1967年7月）

製鉄原料長期購買および使用計画†

内山辰丙*
菅原晟介*
田中利二*

I まえがき

一貫製鉄所における鋼の主原料は，今更ここに書くまでもなく銑鉄とスクラップ（鉄くず）である（第1図参照）．このうち銑鉄は，輸入鉄鉱石を主原料としており，この輸入鉄鉱石は比較的長期間にわたる契約が多いため，輸入価格は安定している．一方，スクラップは景気変動に大きく左右され，非常に不安定な市況を示す．その様子を第2図に示す．



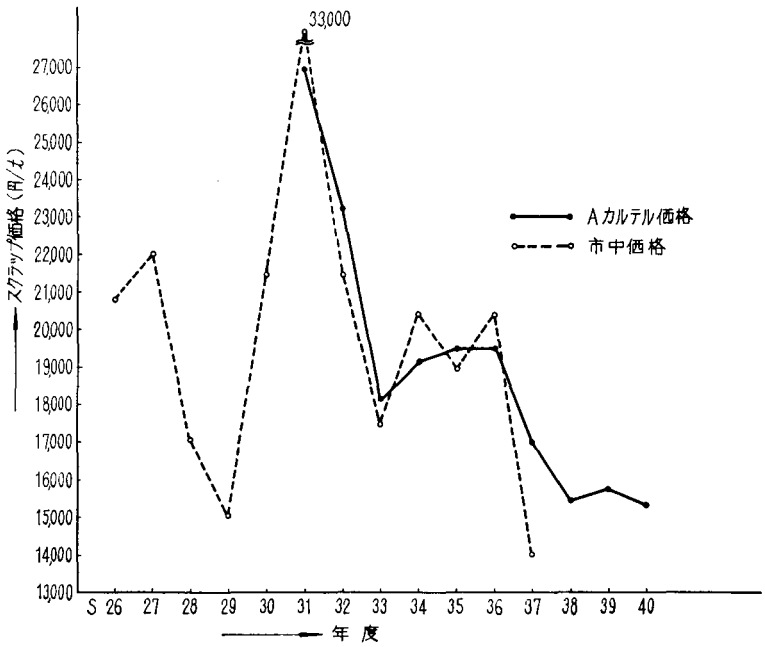
第1図　鉄鋼工程図

注：銑鉄とスクラップの比は，平炉では約5：5又は6：4
転炉では8：2，電炉では殆んど全量スクラップと考えてもらってよい

† 1966年6月24日受理，1965年9月29日「OR学会秋季研究発表会」に発表。

* 八幡製鉄（株），八幡製鉄所

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．



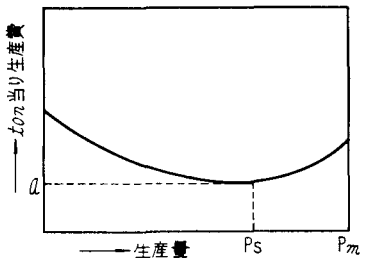
第2図　スクラップ価格の変動

従って，一貫製鉄所における長期間にわたっての必要な粗鋼生産量を，最小の費用で生産する最有利な方策を求めるために，各期のスクラップの購入，及び使用計画は，次のようなモデルに従って立案するよう考えた．

II　数式モデル

総費用に影響を与える主要因として，スクラップ購入費と生産費の2つをとりあげ，N期間の，これら2つによってきまる総費用を最小にするような計算を行なえばよいと考えた．この際考慮した前提条件は，全国粗鋼生産高，ある一貫製鉄所の高炉能力，平炉能力，溶銑比（Pig Ratio），スクラップ価格，スクラップ在庫能力，生産シェアなどである．

次に生産費関係について述べる．これは銑鉄と鋼塊に分けて考えることにした．第3図に示すように ton 当りの銑鉄生産費は，操業度によって変化し，(1)式を用いる．



第3図　銑鉄生産費

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

(1)……$Y_p=a\{1+b(P_t-P_s)^2/a(P_m-P_s)^2\}$

ここで，Y_p：t当り銑鉄生産費

a ：P_s時のt当り生産費

P_s：最適生産量

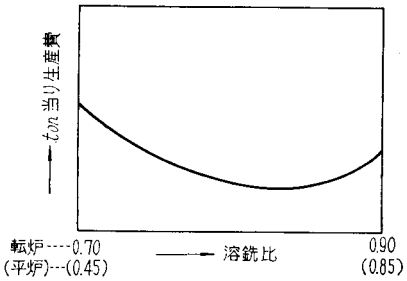
P_m：Max. 生産量

P_t：銑鉄生産量

b ：定数

(1)式は，コークス比（＝銑鉄1トンを生産するに必要なコークス消費量 kg/t）の増減により，ある程度，技術的に，定まるものであり，当社においても，特定高炉については，技術部で試算されたが，まだオーソライズされるまでには到らず，仮定と考えていただいてよい．

次に鋼塊生産費は，操業度と Pig Ratio の関数で示され，Pig Ratio をパラメータとして操業度との関係を示すと第4図のようになる．



第4図　鋼塊生産費

平炉，転炉の鋼塊生産費（作業費）の関数を(2)式，(3)式に示す．

(2)……$Y_o=C_o+D_o(P.R_o-St_o)-E_o/(P.R_o-SM_o)$

(3)……$Y_c=C_c+D_c(P.R_c-St_c)-E_c/(P.R_c-SM_c)$

ここで，添字 O：平炉を示す

添字 C：転炉を示す

$P.R$：Pig Ratio（溶銑比）

St：P.R. の標準

SM：PR の Max に近いある定数

C, D, E：定数

Y：ton 当り鋼塊生産費（作業費）

(2)式，(3)式および，これらの式の定数は，実際のデータから，技術的解析，統計的解析により求めることができるものである．

すなわち(2)式，(3)式の第3項（最終項は）必ず $PR<SM$ であるから，常に正なる値となる．

生産費 Y は，直線（第2項）とこの第3項との和で成り立っていることを見抜いたわけである．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

生産性に最も影響を与えるのは，溶銑比と酸素使用量であるが，ここでは，研究の第1段階として，溶銑比のみの影響を，大胆に仮定している．

次にスクラップの購入の問題に移る．

スクラップの価格には2通りあって，1つは市中価格，1つはカルテル価格である．前者は実際の需要と供給のバランスにより動いており，後者は価格の上限を決めた，いわば合理化カルテルである．カルテルは普通鋼メーカーなど業種別，地域別に結成されており，当社はAカルテルに属している．Bカルテルというのは特殊鋼メーカー，Cは関西の電炉メーカー等，Eカルテルまである．これら2つの価格の変動は，先程第2図に示した通りである．

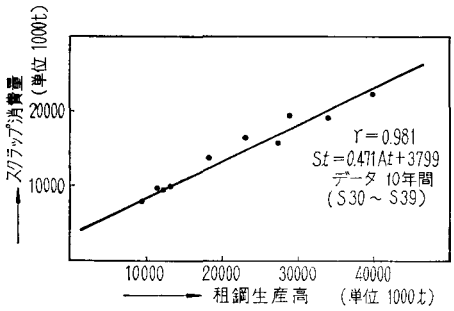
全国粗鋼生産高と全国スクラップ消費量とは，第5図に示すような相関々係があり，その回帰式は(4)式に示す通りで

(4)……$St=0.471At+3799$（単位 1,000 ton）

ただし　At は全国粗鋼生産高

St は全国スクラップ消費量

相関係数　$r=0.981$



第5図　全国スクラップ消費量—全国粗鋼生産高

従って，全国粗鋼生産高から全国スクラップ消費量が決る．しかし今後は，転炉鋼の生産比率が増加することが確実視されるので，過去の解析結果をそのまま将来にわたって用いるのは問題があると思われるが，ここでは(4)式をそのまま用いる．（註　これについては，V．考察参照のこと）

次の(5)式によりスクラップ実際価格が動くとした．

(5)……$C_R=C_s(1+\alpha(S_p-s.S_t)/St)$

ここで　St：全国スクラップ消費量

S_p：ある一貫製鉄所のスクラップ購入量

s：ある一貫製鉄所の購入割当て比

C_R：スクラップ購入価格

C_s：スクラップ基準価格

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

α ：価格弾性係数

(4)式と(5)式によってスクラップ購入価格が決定できる．(5)式をもう少し詳しく説明すると，もしある一貫製鉄所が政策として，スクラップを多く買うような方策をとると，スクラップ価格が上昇することが考えられることを意味している．(5)式は仮定式である．

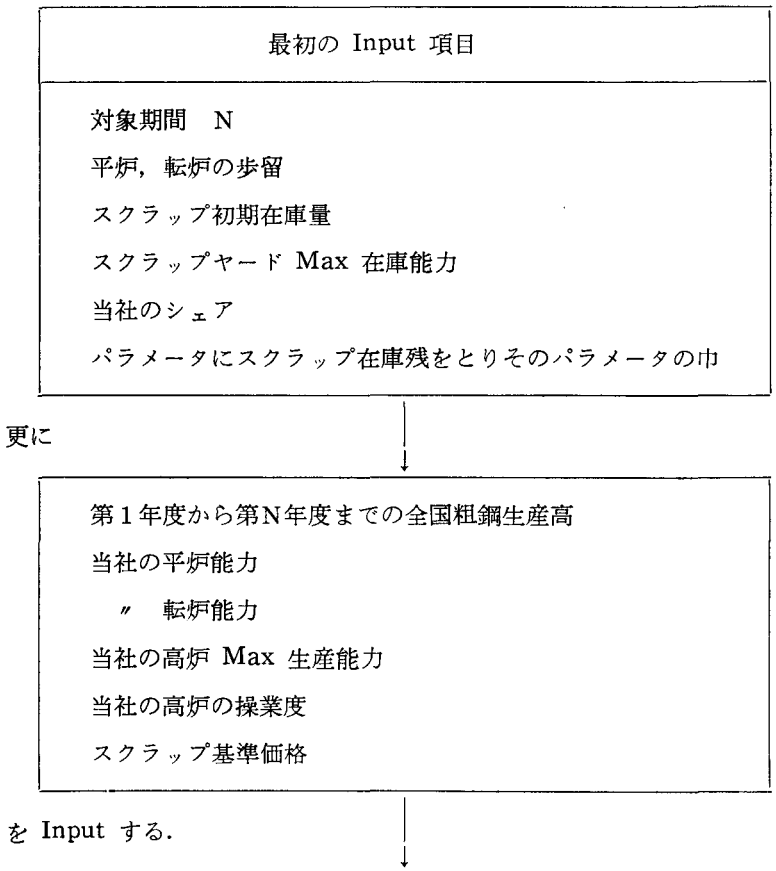
(4)，(5)式の At，C_s，s は別途与えられるものとする．α については次のように考えた．

アメリカ等の例では，全国のスクラップ購入量の1％多く買うと価格は1.5％増加する．即ち，価格弾性係数が1.5であるといわれている．日本の場合，具体的な数値がないが，考え方はV．考察にて述べることにする．一応アメリカの数字を参考として使用せざるを得ない．

以上から，長期間にわたる最有利な方策を Dynamic Programming のモデルで求めることができる．

III　定式化と数値計算例

DP で大切な，定式化の過程を，実際に見やすいように，ブロックダイヤグラムであらわし，内容は符号を避け出来るだけ言葉で表現することにする．なおプログラムは FORTRAN によった．



© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

第1年度の data にてスタート

SHR＝(平炉生産量＋転炉生産量)/全国粗鋼生産高

↓

SHRは当社のシェアより大か

no → 方針として，転炉の優先使用*

yes ↓

SHR＝八幡のシェア

↓

従って

転炉生産量 DT＝転炉能力

平炉生産量 OT＝全国粗鋼生産高×SHR－転炉生産量

↓

スクラップ使用 Max 量 BH＝転炉生産量×0.30**/歩留＋平炉生産量×0.55**/歩留

スクラップ使用 Min 量 BL＝転炉生産量×0.10**/歩留＋平炉生産量×0.15**/歩留

↓

Min 量よりスタート

B＝BL

I＝1と符号をつけておく.

↓

Ⓓ→ この次に，生産関数の Subroutine を呼び出す.

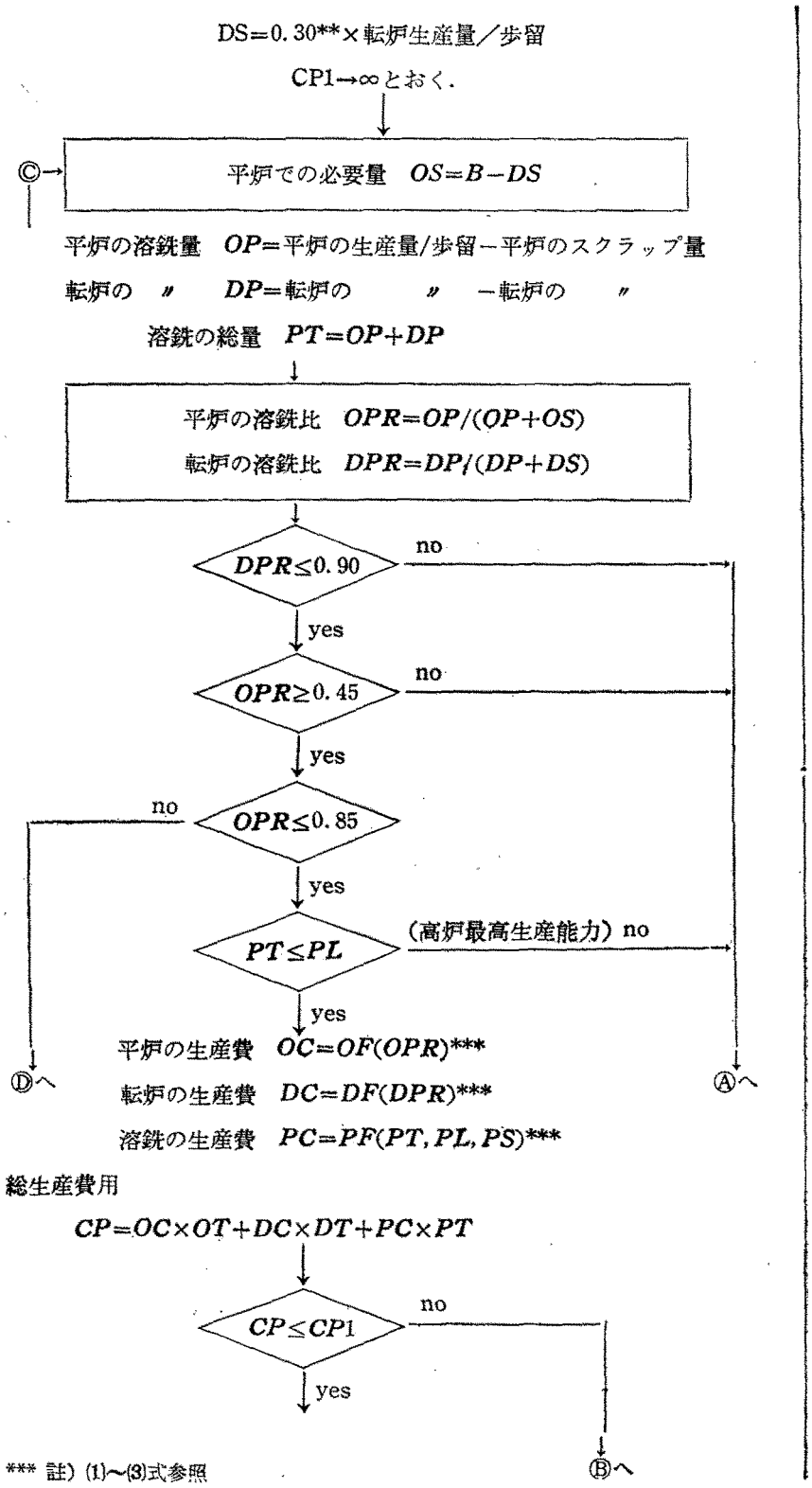
転炉の溶銑比の最小値，すなわちスクラップ使用量の最大値により，この際のスクラップ必要量を求める.

---

* 註）生産コストは，平炉に比べ，転炉の方が数千円/ton 安いことが明らかにされている。

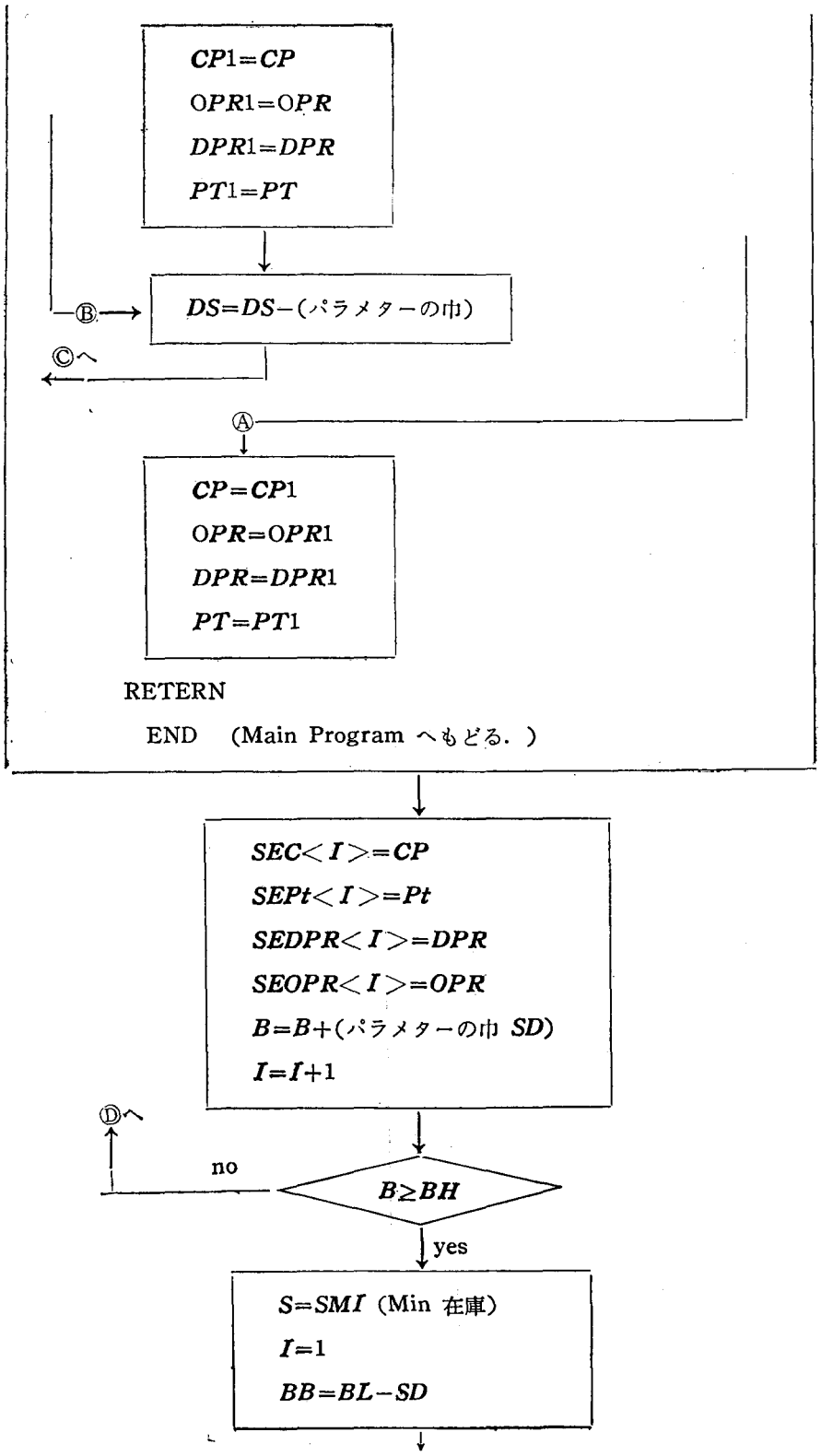
** 註）転炉の溶銑比は0.70～0.90，平炉は0.45～0.85（第4図参照）であるから，スクラップ使用比率は転炉では 0.30～0.10，平炉は 0.55～0.15 である。

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.

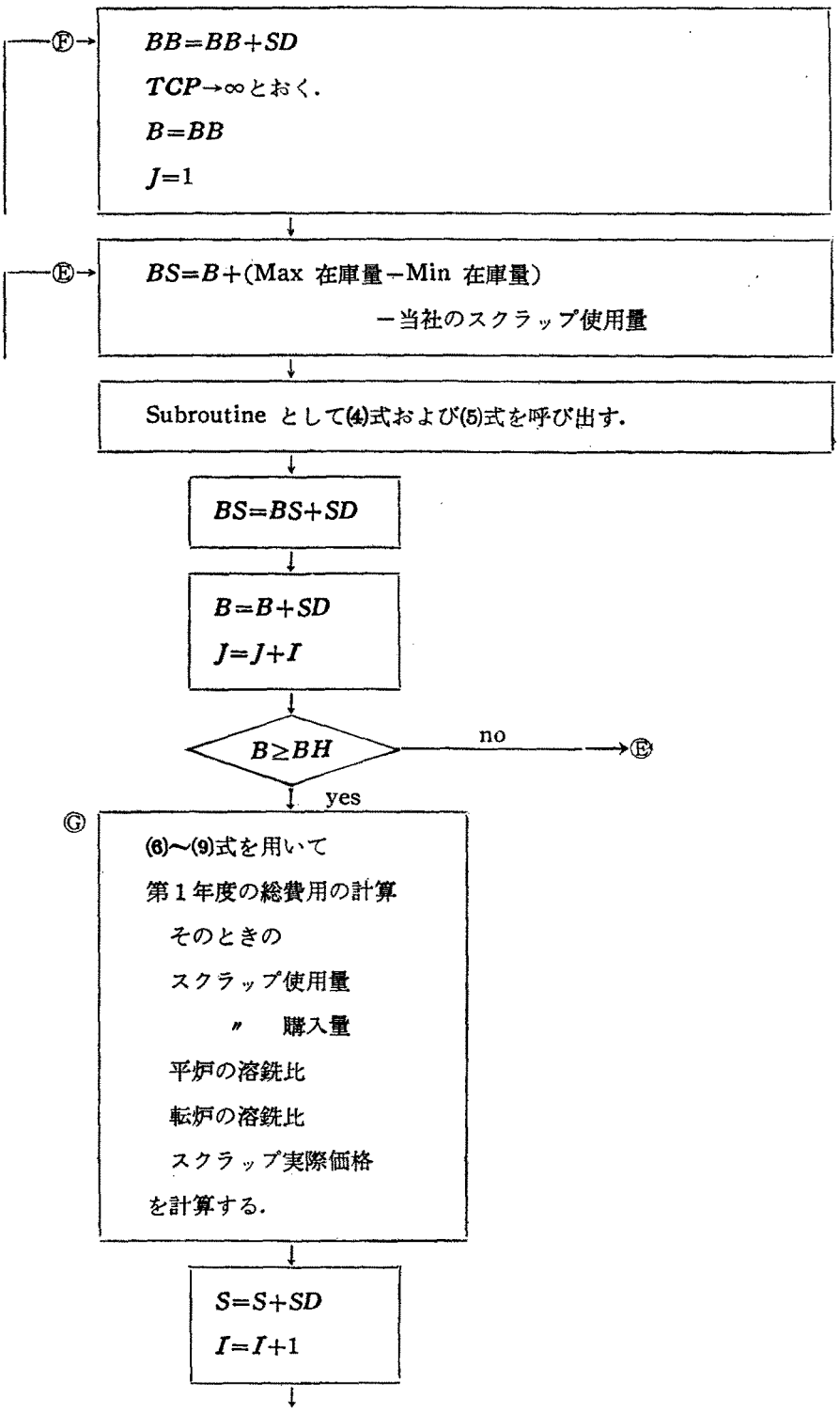


*** 註) (1)〜(3)式参照

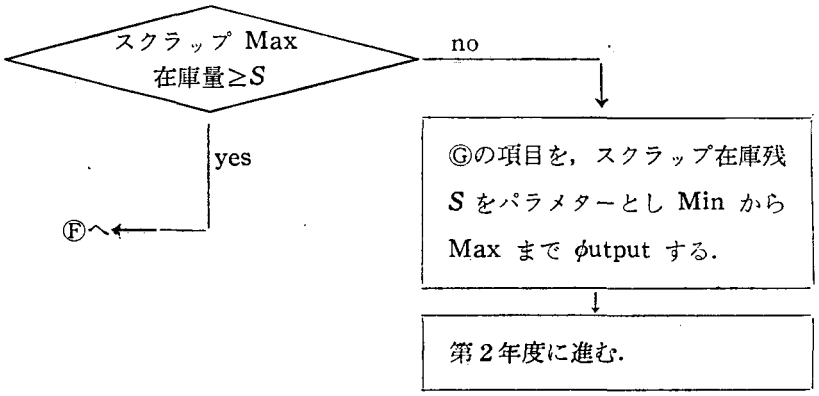
© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.



© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.



© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.



以下第N年度まで同様にくりかえして終了.

以上の要点をまとめると次のようになる.

第 N 期のスクラップ期末在庫を S

第 N 期のスクラップ使用量を S_u

〃　〃　購入量を S_p

〃　生産費を $g_N(S_u)$

〃　スクラップ購入費を $h_N(S_p)$

とすれば,

(6)……$h_N(S_p)=C_R\cdot S_p$

(7)……$g_N(S_u)=G_1\{Y_c\cdot x_c+Y_o\cdot(1-x_c)\}+G_2Y_p$

ただし，G_1, G_2 は生産計画によって定る定数，x_c は転炉の生産比率.

生産費は，前述した如く，銑鉄生産費，鋼塊生産費の合計として表現できる.

一貫製鉄所では，転炉と平炉で　全鋼塊が生産されていると考えていいので（正確には少量の電気炉がある．この場合も，同様の考え方でよい．）x_c を転炉の生産比率，すなわち x_c＝転炉生産量／(転炉生産量＋平炉生産量）とすると，必然的に，平炉の生産比率は $1-x_c$ となる．(7)式の Y_o, Y_c は(2)式および(3)式の Y_o, Y_c と同じものである．ここで(2)式および(3)式は $P.R$（溶銑比）の関数となっている．鋼塊の主原料は，溶銑とスクラップだけであるから $P.R$＝溶銑／(溶銑＋スクラップ）より $Y(P.R)$ は，$Y(S_u)$ と同じことを意味している．(1)式については，同様に当社の鋼塊生産量（すなわち全国粗鋼生産高×当社のシェア）が定められているので，溶銑量とスクラップ量は，一方が，決まれば，他方が定まる関係にある.

このように，考えると(7)式に示す如く，生産費は，スクラップ使用量 S_u の関数として表現できる.

第 N 期の総費用，$f_N(S_u, S_p)$ は(8)式のようになる.

(8)……$f_N(S_u, S_p)=g_N(S_u)+h_N(S_p)$

スクラップの在庫残を S とした場合の N 期間での最小費用を $F_N(S)$ とすると，(9)式のよ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず.

うになる.

$$(9)\cdots\cdots F_N(S)=\min_{S_u,S_p}\{f_1(S_u,S_p)+F_{N-1}(S-S_p+S_u)\}$$

一例として昭和40年から45年をとり，一期間の単位は一年，$N=6$ の例を数値計算した．その Input Data を第Ⅰ表に示す.

計算は IBM 7074 によった.

第Ⅰ表の条件により計算した結果のまとめを第Ⅱ表に示す.

第Ⅰ表 Input Data

項目 ＼ 年度		S 40	41	42	43	44	45
全国粗鋼生産高	At	40,400	44,600	48,800	53,000	57,000	60,700 千t
平炉能力		2,580	2,540	2,520	2,510	2,440	2,340 千t
転炉能力		5,500	6,380	7,240	8,090	8,960	9,800 千t
高炉能力		6,880	7,280	7,800	8,330	8,740	9,460 千t
スクラップ価格	Cs	17,000	17,000	17,000	15,002	14,000	13,000 円

（注：初期在庫 16万t　　スクラップ在庫能力 42万t）

第Ⅱ表 Out Put のまとめ

N	年度	購入量 S_p	溶銑比 $P.R$ 転炉 $P.R_c$	溶銑比 $P.R$ 平炉 $P.R_o$	スクラップ価格 C_R
1	40	974 千t	0.747	0.793	16,193 円
2	41	1,476	0.711	0.790	16,283
3	42	1,839	0.700	0.751	15,370
4	43	2,143	0.700	0.666	14,435
5	44	2,507	0.700	0.583	13,504
6	45	2,575	0.700	0.590	12,530

Ⅳ 考　　察

本モデルの今回の計算は研究段階，いわば試算であって，この結果は，必ずしもこのまま直ちに実用化できるというものではないかも知れないが，このような考え方をすれば，購買業務を科学的に改善できると考えられる．更に，実用化のためには，今後どのようなデータが必要であるかを知るためにも十分役立つものである．今回の計算では，年度単位であったが，実用のためには，半期または四半期単位が望ましいであろう.

又，Ⅱ節で述べたように，粗鋼生産高とスクラップ消費量との間には，過去の解析結果は $r=0.981$ と非常に強い相関々係を持っているが，今後の推移はどうであろうか.

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

今少し詳細にそれをみてみる．（第Ⅲ，第Ⅳ表参照）

第Ⅲ表　粗鋼生産高と鉄くず消費の関係推移

会計年度	粗鋼生産高（A）	鉄くず総消費量（B）	（B）/（A）kg
	千t	千t	
S29	7,875	6,344	806
30	9,791	7,668	783
31	11,678	9,466	811
32	12,309	9,449	768
33	12,773	8,978	703
34	18,247	13,129	720
35	23,161	16,348	706
36	29,399	19,279	656
37	27,250	15,797	580
38	34,079	18,977	557
39	40,532	22,219	548
40	40,400	20,040	496
45	60,700	26,900	444

（注：39年度以前は実績，40年度以降は推定）

第Ⅳ表　炉型別生産実績

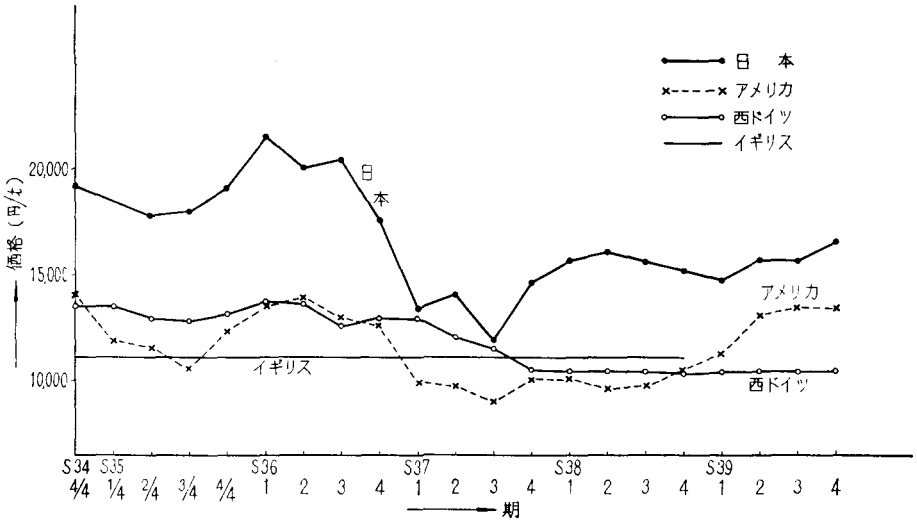
年度	転炉	平炉	電炉	合計
	千t	千t	千t	千t
30	417	8,108	1,266	9,791
31	453	9,368	1,857	11,678
32	532	9,607	2,170	12,309
33	874	9,686	2,213	12,773
34	1,445	13,307	3,495	18,247
35	3,182	15,211	4,768	23,161
36	6,005	17,252	6,142	29,399
37	9,366	11,928	5,956	27,250
38	13,423	13,743	7,614	34,080
39	18,574	13,406	8,552	40,532
40	23,600	8,400	8,400	40,400
45	46,500	4,200	10,000	60,700

第Ⅲ，Ⅳ表からも明らかなように，今後ますます転炉化が進み，スクラップの相対的なレベルは低下する．

Input Data を定めるにあたって，一番問題になったのはスクラップ価格である．諸資料を調

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

査した結果，日本においても昭和45年には，スクラップの輸入国から輸出国に転ずることが予測できる．即ちスクラップ量がダブツクわけである．これは前述の表をみても明らかな通りである．国内くず回収量は，過去20年間の鉄鋼材蓄積量に一定比率をかけて算出する方法が一般にとられている．スクラップ価格推定にあたっては，以上の調査のほか，世界各国の価格の推移（第6図参照），溶銑コストとのかね合い，過去のスクラップ価格と量，等の関係より推定した．



第6図　世界のスクラップ価格推移

しかし世界的な傾向からみてもスクラップ価格は，過去においては日本が特に高く，今後，低下することは，間違いあるまいと思われる．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．