
建設機械特集

ショベルの整備時期と更新時期の経済的考察.....	93
建設機械用ディーゼル機関の耐久性向上.....	97
U23 ワードレオナード式電気ショベルの仕様と特性.....	104
U106 アースドリルのせん孔機構と作業実績	109
日立ブルドーザの進歩.....	116
トラッククレーン用ブームの軽量化.....	123
最近の日立ポータブルロータリコンプレッサ.....	131

ショベルの整備時期と更新時期の経済的考察

Economical Consideration on Periods of Overhauls and Replacement of Powershovels

佐 伯 賢 治*
Kenji Saeki

内 容 梗 概

建設機械の整備時期と更新時期を決定する方法はいろいろ考えられるが、0.6 m³ 級ショベルの代表的機種である U 106 ショベルに例をとって、主として経済的見地から最適整備時期、ならびに更新時期を求め、これらを左右する経済的要因について述べ、需要家の参考に供した。

1. 緒 言

建設機械はその機能を維持するため、廃車までに数度の完全整備をするのが普通である。

これらの整備時期は、建設機械の稼働負荷条件、作業環境の経歴などによって異なる各部品の劣化程度、または経験的に知り得る劣化の確率などによっても定め得るもので、一般にはこれらの経験値に照合して整備時期を決めている例が多いようである。

これらの方法も確かに有力な方法の一つではあるが、機能劣化の検討が主体になっているので、必ずしも最も経済的なものであるとは言えないようである。

建設機械類の最適整備時期を求めることは、なかなかむずかしい問題であるが、ここでは主として経済性見地から、0.6 m³ 級ショベルの代表的機種である U 106 ショベルに例をとって、約 300 台の整備実績ならびに、ユーザ各位より寄せられた資料などに基づき、それぞれの稼働条件における整備時期を求めてみた。

更新時期については、いろいろな考え方があり、その経済理論も数多く発表されているが、現有設備の新設備に対する陳腐化という、相対的劣性をどのように評価するかというきわめてむずかしい問題を含んでいるので、今後の検討にまつべき点が多く残っているが、旧式化した U 06 ショベルと U 106 ショベルの相対的劣性度が、新設備についても生ずるであろうと仮定し、最適整備時期で整備しながら稼働させた場合の、標準的稼働条件における U 106 ショベルの更新時期を推定したものである。

2. 経済的整備時期

建設機械は使用するにつれて劣化が進み、保守費は増加し稼働能力は低下する。劣化に対しては修理、改造などを加えて機能を回復し、稼働能力の低下を防止する。

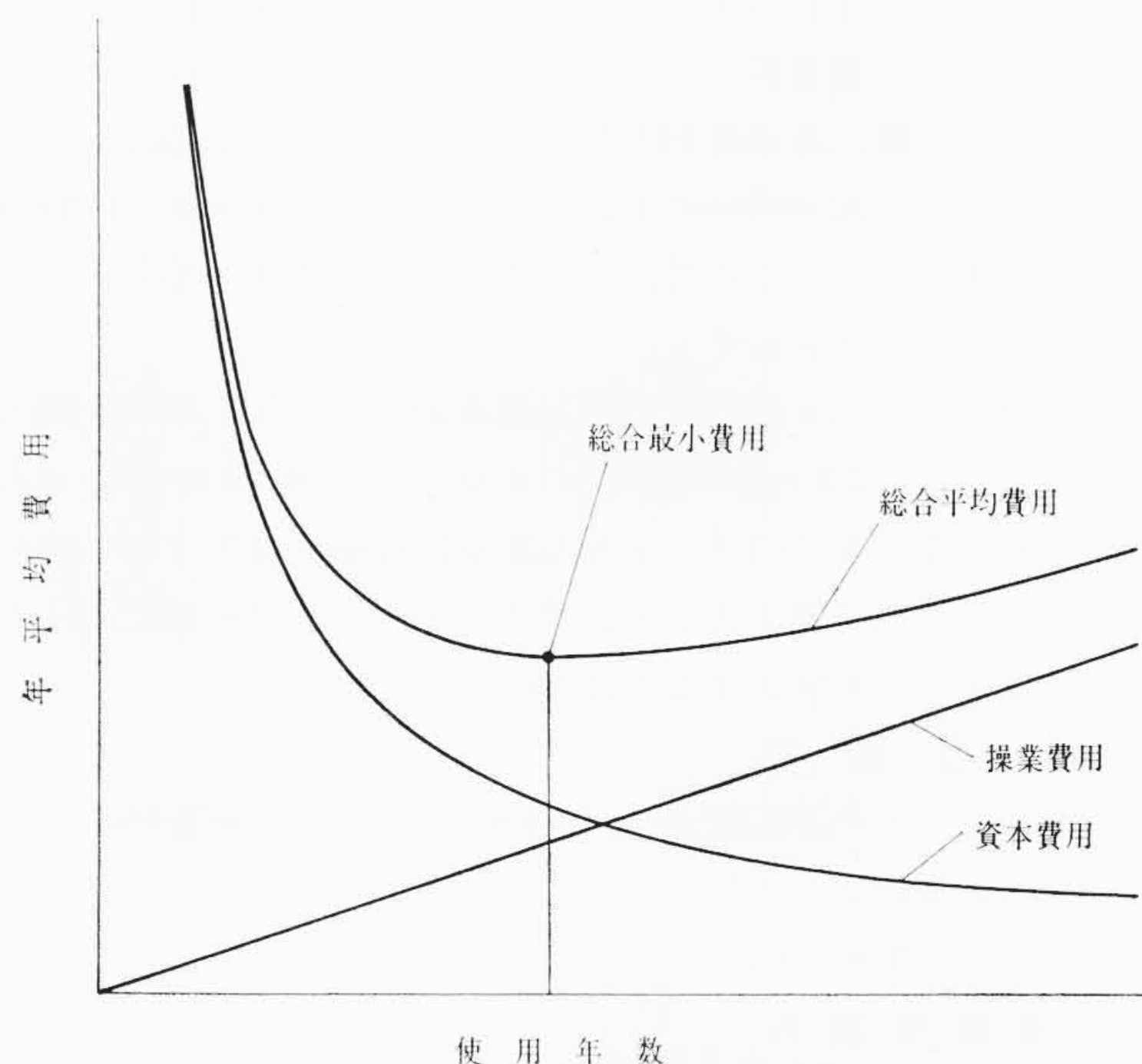
これらの保守費と運転経費、ならびに稼働能力の低下による損失などのいっさいの支出と、損失の総和を、その設備の操業費用という。

一方設備価格の価値低下額を、その設備の資本費用といい、財務会計上では減価償却としてこれをまかなっている。これらの操業費用と資本費用はいずれも将来に発生するものであるから、これらの費用に期待し得る回収率を考慮して、現在価値に評価し、年平均化した値で示すと、この両者の和、すなわち総合平均費用は第 1 図に示すように、使用年数が長くなるにつれて当初の急激な減少から次第に緩慢な減少となり、ある点に達すると逆に増加していくようになる⁽¹⁾。

この点における総合平均費用は最小値を示すので、これを総合最小費用と呼ぶことにする。

総合平均費用を求める一般式は次のように与えられる。

* 日立建設機械サービス株式会社



第 1 図 使用期間による総合平均費用の変化

$$U = \left\{ \sum_{n=1}^n G_n (1+i)^{-n} + C - L(1+i)^{-n} \right\} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

U : 総合平均費用 i : 資本回収率
G_n : 操業費用 n : 使用年数
C : 当初の資本金 (1+i)⁻ⁿ : 現価係数
L : 設備残価 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$: 資本回収係数

n を整備時期として与えれば、総合平均費用は整備時期によって変化するものであるから、その最小値を占める時点は、最も経済的な整備時期を示すものとなる。

すなわち総合最小費用を得る整備時期をもって経済的整備時期とするものである。

3. U 106 ショベルの総合費用

ショベルの総合費用は、運転経費、整備費、保険料、税金などのように支出費として容易に算定できるものと、機能低下による損失、整備時休止損失、設備の価値低下額などのようにその実態を把握しにくいものがある。

特に機能低下による損失は稼働高に反映するものであるが、稼働高は単に機能の低下に基因するとは限らず、オペレータの運転操作および稼働現場の作業の難易性によっても変化するものであるから、それぞれを分類して経済比較をしなければならない性質のものであるが、これらのものは不可量的なものであるために、実際問題としては困難である。

したがって、筆者は可能稼働高という基準を設け、これに対する実稼働高の変化を測り、これを機能劣化の尺度として使用すること

にした。いま n 期稼働させて整備をするとすれば、この間の総合平均費用は次式で表わされる。

$$U = \left\{ \sum_{n=1}^n (g_n + d_n) (1+i)^{-n} + \sum_{n=1}^{n-1} r_n (1+i)^{-n} + r'_n (1+i)^{-n} + (C' + V) (1+i)^{-n} + C - L_n (1+i)^{-n} \right\} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 g_n ： 運転経費（運転員賃金，燃料油脂費，消耗品費，小修理費，保管費，雑費）
 d_n ： 稼働高損失 V ： 整備時の休止損失
 r_n ： 税 金 C ： ショベル購入価格
 r'_n ： 整備時期の税金 L_n ： 設備残価
 C' ： 整備費 i ： 資本回収率

建設機械は一般に稼働時間当たりの経済比較をする場合が多く、ショベルの場合は稼働時間の単位として、アワーメータ（稼働時間計）時間が使われているので、以下時間の単位はすべてアワーメータ時間を使用することにする。

0.6 m³ 級のショベルの標準的な可能稼働時間は年 1,500 時間内外とされているが、(2)式に年単位の n を与えて整備時期を求めると、誤差が大きくなるので、 n を 500 時間稼働に相当する 4 箇月を 1 期として与えて計算することにする。それぞれの n 期における費用（単位はすべて k¥ とする）は次のとおりである。

3.1 運 転 経 費

U 106 ショベルの運転経費を実績値によって、統計的に求めると、近似的に次のように与えられる。

$$g_n = 7.37 n^2 + 463 \dots\dots\dots (3)$$

3.2 稼 働 高 損 失

ショベルは稼働するにつれて機能の劣化が進行し、単位時間当たりの稼働高が低下してくる。いま新車当時の機能良好な状態において 1 期 500 時間稼働したときの稼働高を、可能稼働高とし、これに対して每期 α の割合で稼働高が低下するものとすれば、稼働高損失は次のようになる。

ただし稼働中の故障や小修理のため休止した場合の稼働高損失は、休止時間に見合う稼働によって埋め合わせするものとする。

$$d_n = A \cdot \alpha \cdot n \dots\dots\dots (4)$$

A ： 可 能 稼 働 高
 α ： 稼働高損失係数

可能稼働高をどのように決めるかということにははなはだむずかしい問題で、たとえば可能掘削量を定め得ても、経済事情によって変動する工事単価という要素があり、各企業それぞれの事情によって異なる値をとっているものであるために画一的に定めがたいものであるが、新車当時の稼働記録、ならびに各ユーザーよりよせられた工事費などを参照し、可能掘削量を 75 m³/h、工事単価を 110 円/m³、したがて 500 時間当たりの可能稼働高を 4,125 k¥ と仮定する。

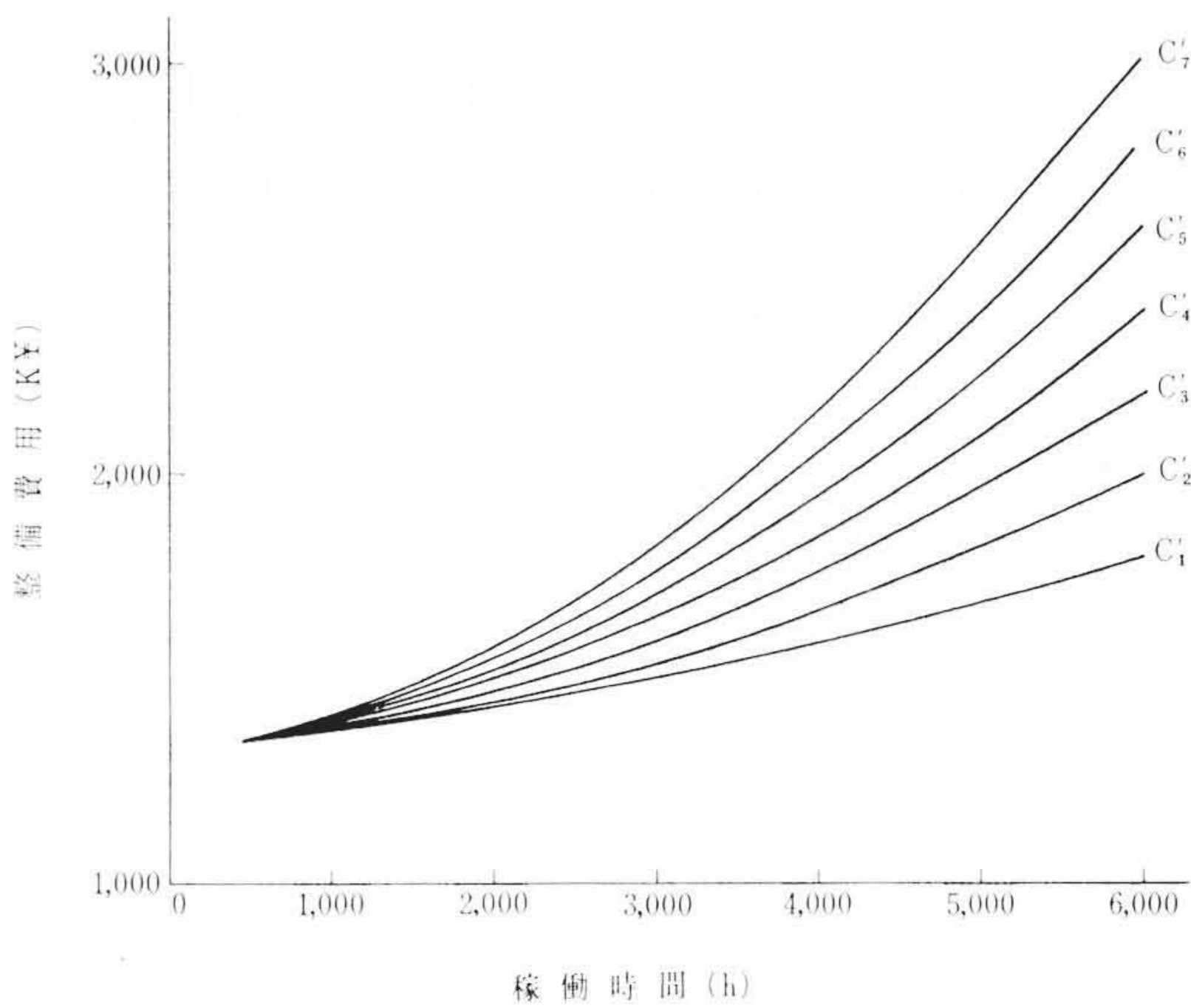
3.3 税 金

わが国の場合所得税，事業税，その他の諸税を総合するとその税率は、利益の約 50% に近いものとなっている。したがって、 a_n を償却費， t_n を借入金利子とすれば、税金は次のようになる。

$$r_n = \{A - (d_n + g_n + a_n + t_n)\} \cdot 0.5 \dots\dots\dots (5)$$

償却という会計上の手続きによる年々の償却費はその計算方式に左右されるもので、必ずしも設備が実際に経済的価値を喪失してゆく割合によることを必要としない。しかしながら税法上の制約があって、実際に企業会計上取り扱われる償却費には限度があり、そしてその限度までは税控除額として認められている。

いま償却費を企業会計上最も安全な定率逓減法により、耐用年数を 5 年、残価を 10% とすれば、各期の償却費は次のようになる。



第 2 図 U 106 ショベルの整備費用

$$a_n = C(1-j) \frac{1}{3}^{(n-1)} \{1 - (1-j) \frac{1}{3}\} \dots\dots\dots (6)$$

C ： ショベル購入価格 = 8,200 k¥
 j ： 年 償 却 率 = 0.369

借入金はその企業の資本構成によって相違するものであるが、いま自己資本を 1/2，他を借入金によってまかなうものとすれば、

$$t_n = \frac{1}{2} \cdot C \{ (1+i')^{\frac{1}{3}} - 1 \} \dots\dots\dots (7)$$

i' ： 借 入 金 利 率 = 0.1/年

3.4 整 備 時 の 税 金

整備費は税控除の扱いを受けるから、整備時期における税金は次のように扱われる。

$$r'_n = \{A - (d_n + g_n + a_n + t_n + C')\} \cdot 0.5 \dots\dots\dots (8)$$

C' ： 整 備 費 用

整備費は稼働時間および稼働強度によって劣化が異なるのでかなりの相違を生ずるものであるが、約 300 台の整備実績により、それぞれの相関関係を求めてみると、第 2 図に示すようになる。

$C_1' \sim C_7'$ は劣化程度に応じて整備費を分類したものである。

C_1' は稼働強度の最も小さい場合で、良好に管理されたドラグライン作業や、クラムシエル作業のような、ライトサービスに該当するものの整備費に相当する。

ショベル作業で、標準的な稼働条件にあったものの整備費は、 C_4' に相当するようである。したがって本項での整備費は C_4' を使って計算することにした。

3.5 整 備 時 の 休 止 損 失

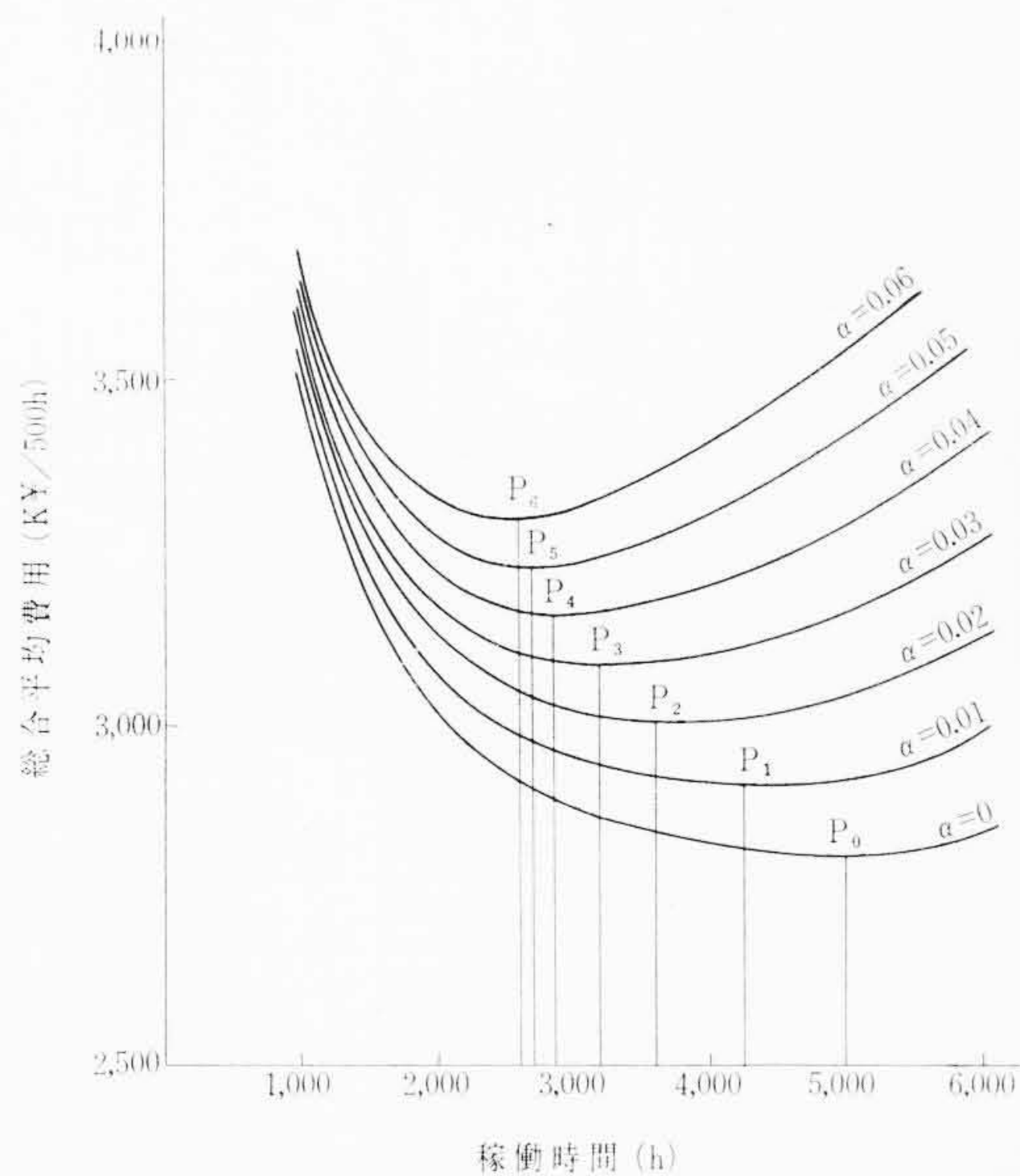
整備時の休止損失は、U 106 ショベルの場合整備に要する日数は約 35 日であって、稼働停止から稼働開始までの運搬日数，その他も含めると約 45 日と見積られるから次のようになる。

$$V = (A - g_n) \times \frac{45 \times 1,500}{365 \times 500} \dots\dots\dots (9)$$

3.6 設 備 残 価

ある期間稼働したショベルの価値低下額は、その時点における需給の相互関係，その他の経済情勢などによって評価されるので、かなりの幅があるものである。

U 106 ショベルの場合は、転売や下取りの例が少ないので評価し難いが、これらの評価額の実例と、耐用時間の推定値などによって、基準残価のおよその値を求めてみると次のように与えてよいようである。



α: 稼働高損失係数 P₀~P₆: 整備時点
第3図 U106シヨベルの稼働高損失係数と整備時点の関係

$$L_n = C \times 0.78 \frac{1}{3^n} \dots\dots\dots (10)$$

3.7 資本回収率

投資資本の調達のためには、必ずある意味での利子を考慮しなければならない。資本費に与える利率は企業の経営事情によっても左右されるものであって、一率に決め難い問題であるが、わが国の場合年10~15%程度の利子を考慮し、この利子を払ってもさらに期待する収益を得られるように考えてゆかねばならないものと思う。

筆者はこれらの資本回収率を年10%、したがって1期あたり*i*=0.0325として計算をすることにする。

4. 第1回目の整備時期

U106シヨベルの総合費用の構成要素に前述の値を与えて、整備費C'₄'の場合の総合平均費用を求めると、第3図のようになる。

この図は、稼働高損失係数αと総合平均費用の関係を示すものであって、P₀~P₆点はそれぞれのαにおける総合最小費用を示している。したがってP₀~P₆それぞれの時点で整備すれば、総合平均費用を最小に維持してゆくことができるので、P₀~P₆は最も経済的な整備時期を示すものである。

5. 第2回目以降の整備時期

第1回の整備を上述の整備時点において実施し、引き続き稼働した場合の次の整備時期は、第1回目の整備時点より、次の整備時点までに発生する総合平均費用によって求めることができる。

したがって、第2回目以降の総合平均費用は次式によって与えられる。

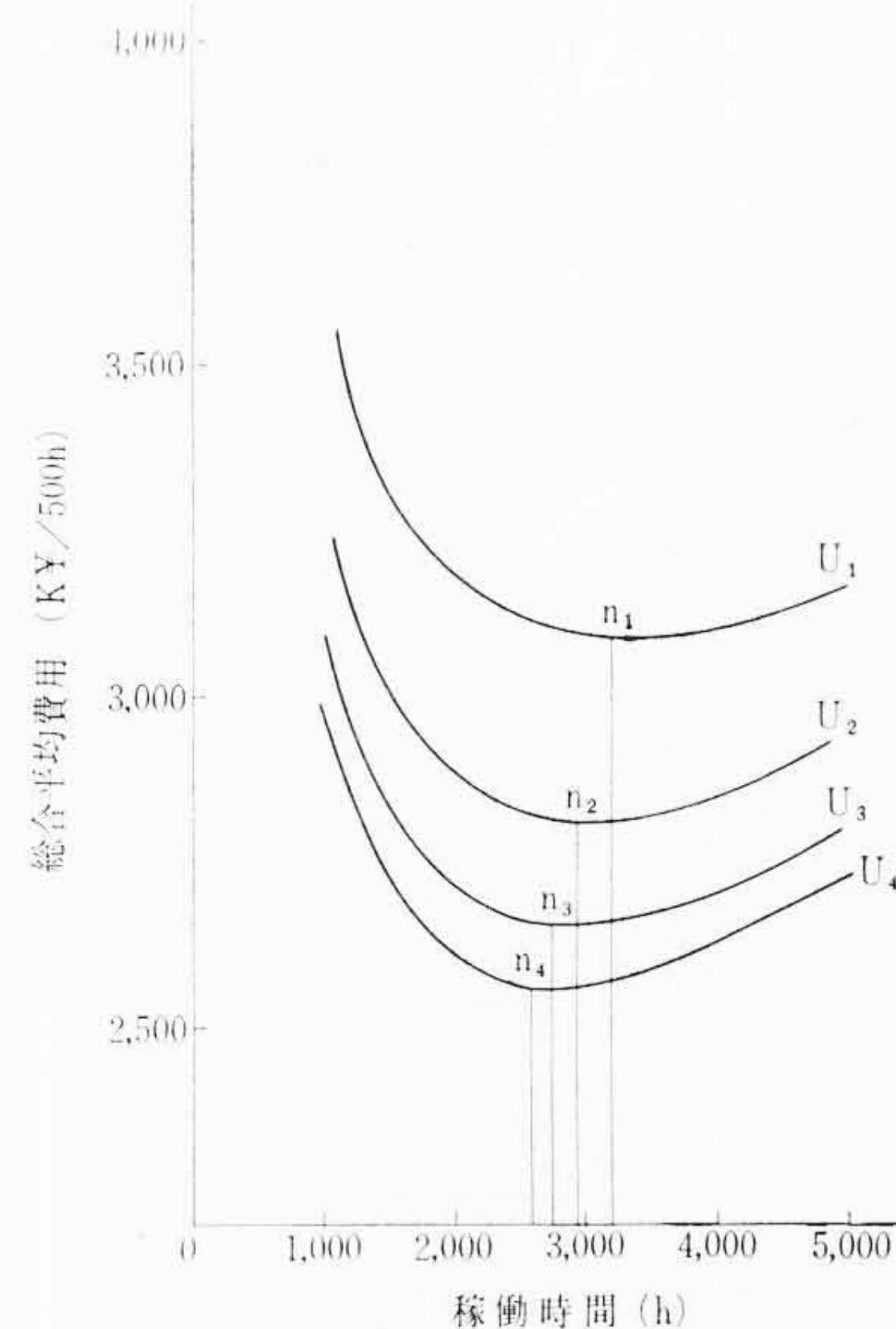
$$U = \left\{ \sum_{n'=1}^{n'} (gn' + dn') (1+i)^{-n'} + \sum_{n'=1}^{n'-1} r_{n'} (1+i)^{-n'} + r'_{n'} (1+i)^{-n'} + (C' + V) (1+i)^{-n'} + L_n - L_{n'} (1+i)^{-n'} \right\} \frac{i(1+i)^{n'}}{(1+i)^{n'} - 1} \dots\dots\dots (11)$$

ただし、U: 次の整備時期までに発生する総合平均費用

n': 次の整備時期までの稼働期数

n: 前回整備までの稼働期数

税金の計算に用いた償却費は人為的に決めた価であるから、第2回目以降の整備時期を求める場合に、所定の償却費をそのまま計上



第4図 U106シヨベルの標準的稼働条件における総合平均費用

して税額を求めると、前回の償却費との差額だけ見かけ上利益増となって税額が大きくなる。

この利益はまったく稼働と関係なく発生したものであるから、第2回目以降の整備時期を求める計算では、実際の償却費でなく第1回目の償却費と同額として扱う。

整備後の運転経費および稼働高損失は、第1回目の整備時期までに発生した値と、まったく等しくなるものと仮定する。第2回目以降の整備費は実績によると第1回目よりは若干多くかかっているもので、第2回目の整備費はC'₅'、以降C'₆'、C'₇'……と累増してゆくものとして扱う。第4図はU106シヨベルの標準的稼働条件として、稼働高損失係数α=0.03の場合について、第1回から第4回目まで整備をした場合のそれぞれの総合平均費用を示したもので、U₁は第1回目の整備をした場合の総合平均費用を示している。

U₂は、第1回目の整備時点n₁、すなわち3,200時間で整備し、その後第2回目の整備をした場合の総合平均費用を示している。

したがって、その最小値を占める時点n₂、すなわち2,950時間が第1回の整備後、次の整備までの最適整備間隔となる。同様に、第3回目の整備間隔はn₃点の2,750時間、第4回目はn₄点の2,600時間と、第2回目以降の整備間隔はシヨベル価格の価値低下損失などの影響によって逐次通減していくものであることを示している。

6. 稼働高損失係数と実稼働高の関係

以上に求めたU106シヨベルの経済的整備時期は、稼働高損失によってかなりの幅で変動するものであるが、この計算に使用した稼働高損失係数と実稼働高の関係は次のようになっている。

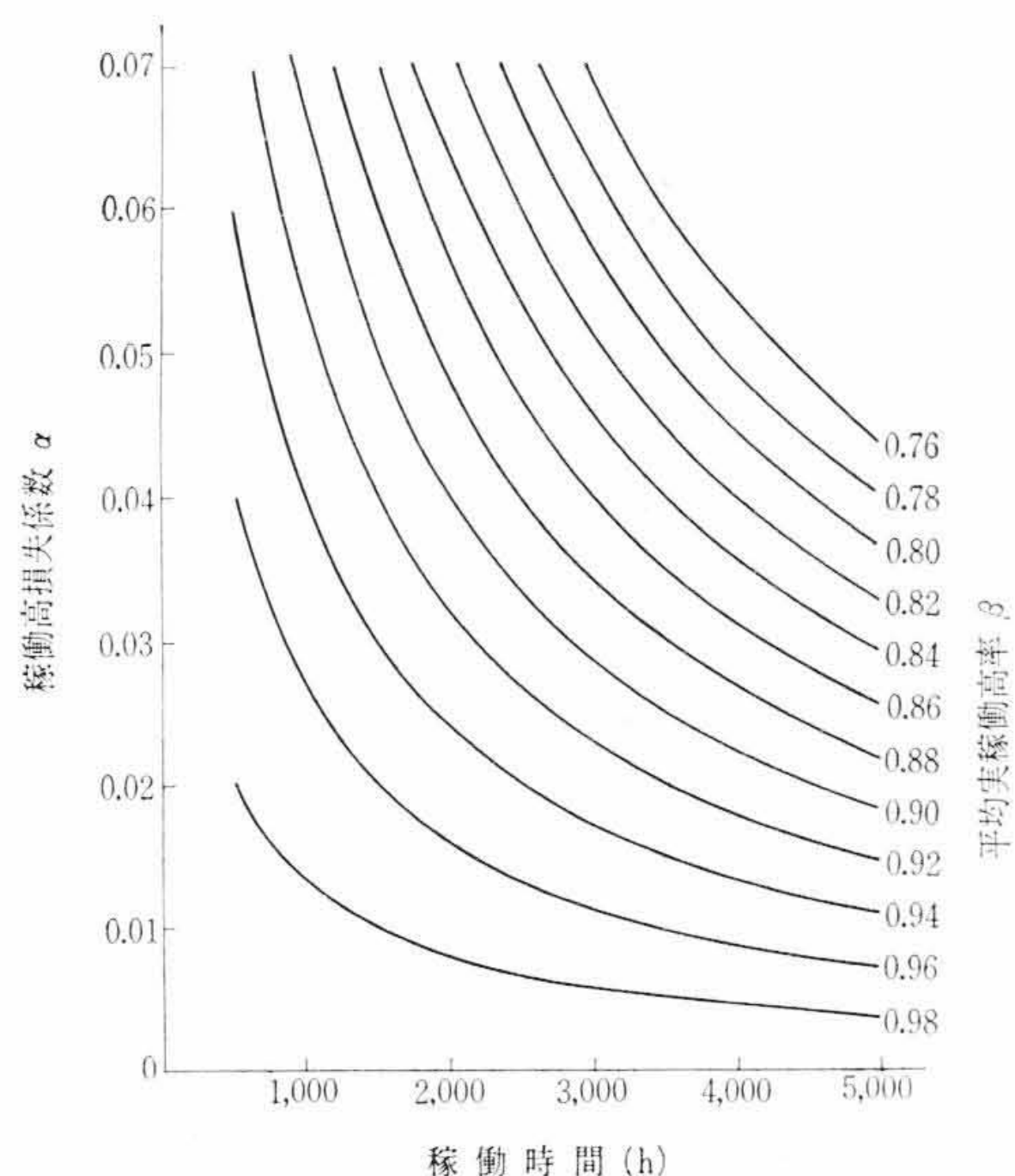
$$\sum_{n=1}^n d_n = \sum_{n=1}^n A \cdot \alpha \cdot n = A \cdot n - \sum_{n=1}^n B_n \dots\dots\dots (12)$$

ここに、B_n: n期の実稼働高

$$\therefore \alpha = \frac{A \cdot n - \sum_{n=1}^n B_n}{\sum_{n=1}^n n} = \frac{A - \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n B_n}{\frac{1}{2} A (n+1)} \dots\dots\dots (13)$$

$\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n B_n$ はn期間の平均実稼働高であるから、今この平均実稼働高が可能稼働高のβ%であったとすれば、

$$\beta = \frac{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n B_n}{A} \dots\dots\dots (14)$$



第 5 図 稼働高損失係数と平均実稼働高率の関係

(13) (14) 式より

$$\alpha = \frac{A - \beta \cdot A}{\frac{1}{2} A(n+1)} = \frac{2(1-\beta)}{n+1} \dots\dots\dots (15)$$

(15) 式により α と β の関係を図示すると第 5 図のようになる。

実稼働高は比較的容易に知ることができるものであるから、これによって稼働高損失の傾向をは握し、機能劣化による損失を定量化することによって、整備時期の判定を容易にすることができる。

7. 更新時期の推定

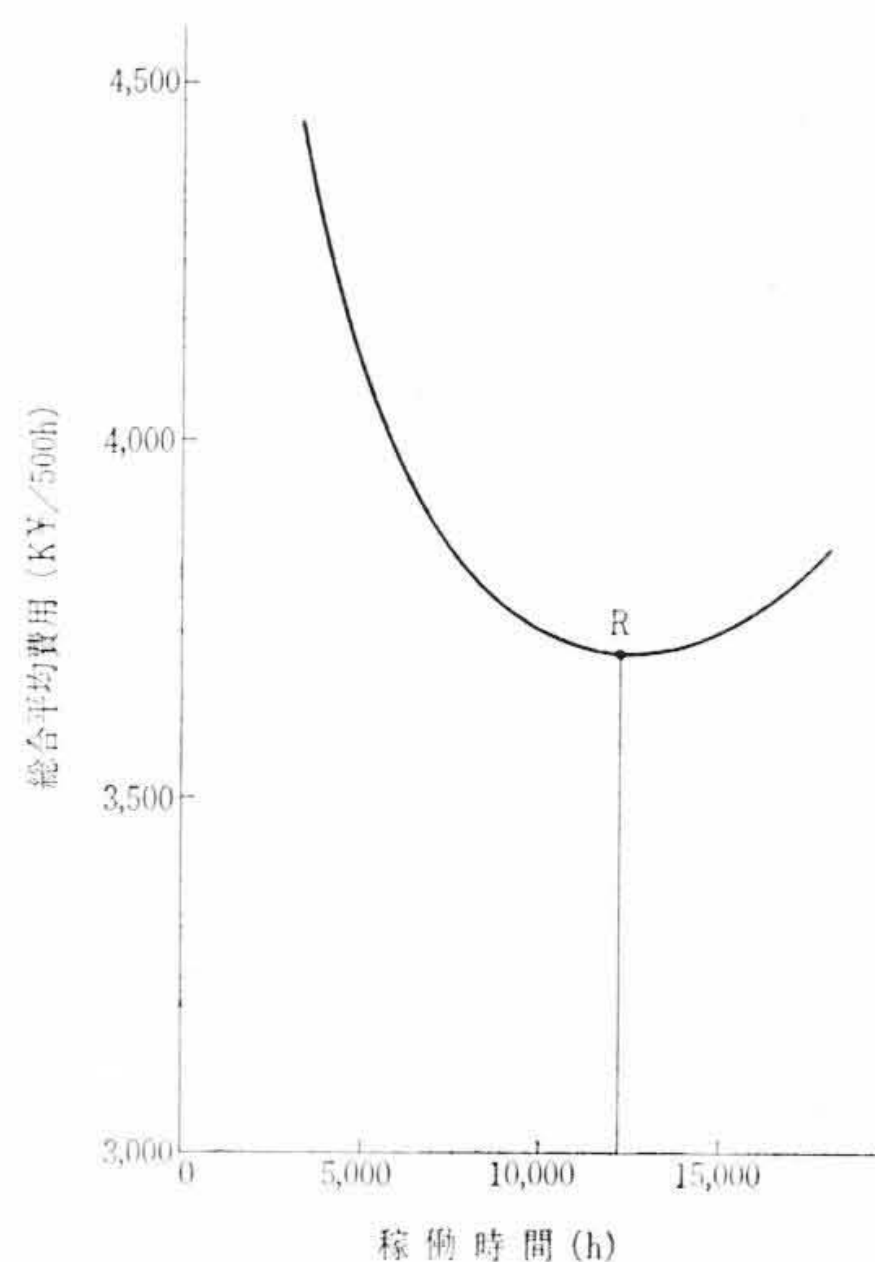
設備については見方によって、いろいろな更新時期というものが考えられる。

これらの設備更新に関する経済理論は数多くのものが発表されているが、筆者は前述のように求めた経済的整備時期において完全整備をしながら稼働させたショベルの総合費用は最も小さく、したがって設備更新の時期を単に総合平均費用の最小値を占むる時点として考えれば、整備時期を求めた方式に準じて容易に求めることができると考える。

しかしながら設備更新の場合は、新設備とし相対的關係によって、経済的な使用期間というものが定まるものであって、設備そのものに本来の経済寿命というものがあるわけではない。したがって現設備の陳腐化と言う相対的劣性によって総合平均費用を補正し、その最小値を占める時点を、更新時期と定めることにする。

いま m 回目まで整備を行なって更新する場合の、総稼働時間に発生した総合平均費用を U_m とすれば、前述の整備時期の算定で求めたそれぞれの n 期に発生した総合費用は、それぞれの前回整備時点を基準として現価に換算しているので、さらに $m-1$ 回目までの稼働時間に相当する現価補正を行なわねばならない。したがって総合平均費用は次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} U_m = & \left\{ \sum_{n=1}^{n_1} u_n \cdot (1+i)^{-n} + \left\{ \sum_{n=1}^{n_2} u_n \cdot (1+i)^{-n} \right\} (1+i)^{-n_1} \dots\dots \right. \\ & + \left\{ \sum_{n=1}^{n_m} u_n \cdot (1+i)^{-n} \right\} \cdot (1+i)^{-\sum_{m=1}^{m-1} n_m} + C(1+i)^{-\sum_{m=1}^m n_m} \\ & + \sum_{m=1}^m g \cdot n(1+i)^{-n} \left. \right\} \frac{i(1+i)^{\sum_{m=1}^m n_m}}{(1+i)^{\sum_{m=1}^m n_m} - 1} \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$



第 6 図 U106 ショベルの標準的稼働条件における更新時の総合平均費用

ここに、

u_n : 各 n 期に発生する総合費用 C : 新ショベル購入価格
 n_m : m 回目の整備時期 g : 劣性度

設備の陳腐化による相対的劣性をどのように見積るかということはきわめてむずかしいことであるが、すでに旧式化した U06 ショベルについて、その損耗とサービス価値の低下に相当する額を相対的劣性として、U 106 ショベルの場合でも相対的劣性が新設備に対し同様の劣性度で生じるものと仮定し、実績値に基づいてこれを 500 時間当たり約 60k 円の劣性度と見積り、新ショベルの購入価格を現設備と同額として、更新時期を推定してみると第 6 図のようになる。すなわち、 R 点は総合平均費用の最小値を占める時点であってこの時点で更新すれば最も経済的であることを示している。

したがって、U 106 ショベルの標準的稼働条件にあるものの経済寿命は約 12,000 時間内外であるといえる。

8. 結 言

建設機械の整備時期ならびに更新時期を経済的見地から U 106 ショベルに例をとって求めてみた。経済的整備時期は、その稼働条件によってかなりの幅が生ずるものであるが、U 106 ショベルの標準的稼働条件にあるものの整備時期は、第 1 回目がアワーメータで 3,200 時間内外であり、第 2 回目以降は、いくぶん逓減していくものであることがわかった。

これらの値を従来の整備実績に比較すれば、約 300 時間程度短いものとなっている。したがって従来の整備時期に比較して、幾分早目に整備をしたほうがより経済的であるといえる。

また、更新時期については、現設備の陳腐化をどのように見積るかによって変動するものであるが、これを旧式化したショベルと新形ショベルとの相対的劣性によって、約 12,000 時間付近が経済的更新時期であると推定した。

設備問題に介入してくる変数は、多岐にわたっており、またユーザーそれぞれの企業内情によっても異なる値をとるものであるから、これを画一的に最も経済的なものであるとはいえないが、本方式による経済的整備時期、ならびに更新時期の求め方がユーザー各位のご参考になれば幸いである。

終わりにのぞみ貴重な資料を提供してくださったユーザー各位ならびに本研究に当たり、終始ご指導たまわった日立ミシン株式会社取締役村川武雄氏に対し、深甚なる謝意を表するものである。

参 考 文 献

(1) 秦恒雄：設備更新の経済理論 49～53 (昭 37, 日刊工業新聞)