大形クローラクレーンの開発

Development of Big Crawler Crane

Hitachi has completed a universal crawler crane, Type KH900, which ranks among the largest in this country. Designed to meet the requirements, both technical and economical, of the large-scale civil engineering and construction works of today this mammoth unit with a standard capacity of 150 tons can also be used, by combining a special attachment, as a 200-ton class counter balance crane, or a tower crane with a lift of 86 m and a lifting capacity of 20 tons.

Design principle, construction, control system and features of this unusual crane are discussed in this article.

沙崎 実* Minoru Shiozaki 杉村信一* Shinichi Sugimura 須田正男* Masao Suda 盛武 賢** Ken Moritake

□ 緒 言

クローラクレーンは元来,ショベル系万能掘削機のベースマシンにクレーンフロントを取り付ける形で発達してきたものであるが、最近の土木、建築の分業の明確化および工事の大形化に伴い、大容量化とともにクレーン機能を十分取り入れた専用機が要求されつつある。クレーンの大容量化は土木、建築工法に大きな影響を及ぼし大幅な工期短縮に役だつ。反面、大形クレーンは製品価格、維持費などの経済的な面からクレーン構造が広範囲の作業目的に効果的に対処できることが望まれる。また最近、安全性、操作性、居住性に対して高い関心が持たれ、稼動中における機械の異常表示および非常時の自動停止などの安全装置の具備、制御による操作性の向上、人間工学に基づく運転室の機器配置などが要求されている。日立KH900クローラクレーンは、このような要求に対応して開発されたものである。

2 開発設計方針

本機の開発に際し特に考慮した点について要約すれば次の とおりである。

- (1) クレーンの能力
 - (a) 土木、建築工事の大形化に対処しうる能力を持つこと。
 - (b) 作業ひん度の高い作業半径において重荷重がつれること。
 - (c) 狭い作業場でも能力が発揮できること。
- (2) 安全装置
 - (a) 誤操作により機械が動作しないこと。
 - (b) クレーン動作極限値は自動停止すること。
 - (c) 油圧回路の異常は異常表示灯で検知できること。また 非常時は自動停止すること。
- (3) 操作性
 - (a) 運転操作に熟練を要しない機構にすること。
 - (b) オペレータの意思が円滑に伝達される応答性が得られること。
 - (c) レバー操作力はオペレータに確実な操作感を与え,か つ疲労が蓄積しないものにすること。
- (4) 居住性

- (a) 運転しやすい機器配置にすること。
- (b) 広い視野とゆったりしたスペースを確保し、オペレー タにむだな緊張感を与えない構造にすること。
- (c) 運転室を独立形にし騒音のはいらぬ構造にすること。
- (5) 構 造
 - (a) フロントの効果的な使用方法を考えること。
 - (b) 各装置をユニット化し、分解、組立、輸送を容易にすること。
 - (c) 各装置は信頼性に富み、かつ汎用性のある部品で構成 すること。

图 駆動装置の油圧化

本機の駆動方式としては下記の目的を満たすため全油圧駆動方式を採用しており、電気回路はすべてON、OFF回路とし、制御は油圧で行なわれている。また油圧と電気の組合せにより種々のインターロック回路を構成し、誤操作による事故防止ならびに非常時の自動停止などの安全対策に万全を期している。

3.1 油圧化の目的

- (1) 速度の無段変速,正逆転,停止を1本レバーで行ないうること。
- (2) 運転室より集中遠隔操作ができる。
- (3) 低速, 高出力が得られる。
- (4) 外力の衝撃が吸収できる。
- (5) インチング操作が容易にできる。
- (6) 自動動力降下ができる。
- (7) 複合動作を容易に行ないうること。
- (8) 各装置をユニット化し、全体をコンパクトにできる。

3.2 回路構成

油圧回路は巻上げ下げ,起伏,旋回,走行動作を行なう主回路と,ガントリ操作,運転席床傾転などを行なう補機回路および速度制御などを行なう制御回路で構成されている。

主回路はタンク容量,効率,制御性および動力の回生機能などの考慮からクローズド回路とし,可変容量ポンプ,固定容量低速モータの組合せによりオイルモータの速度をゼロか

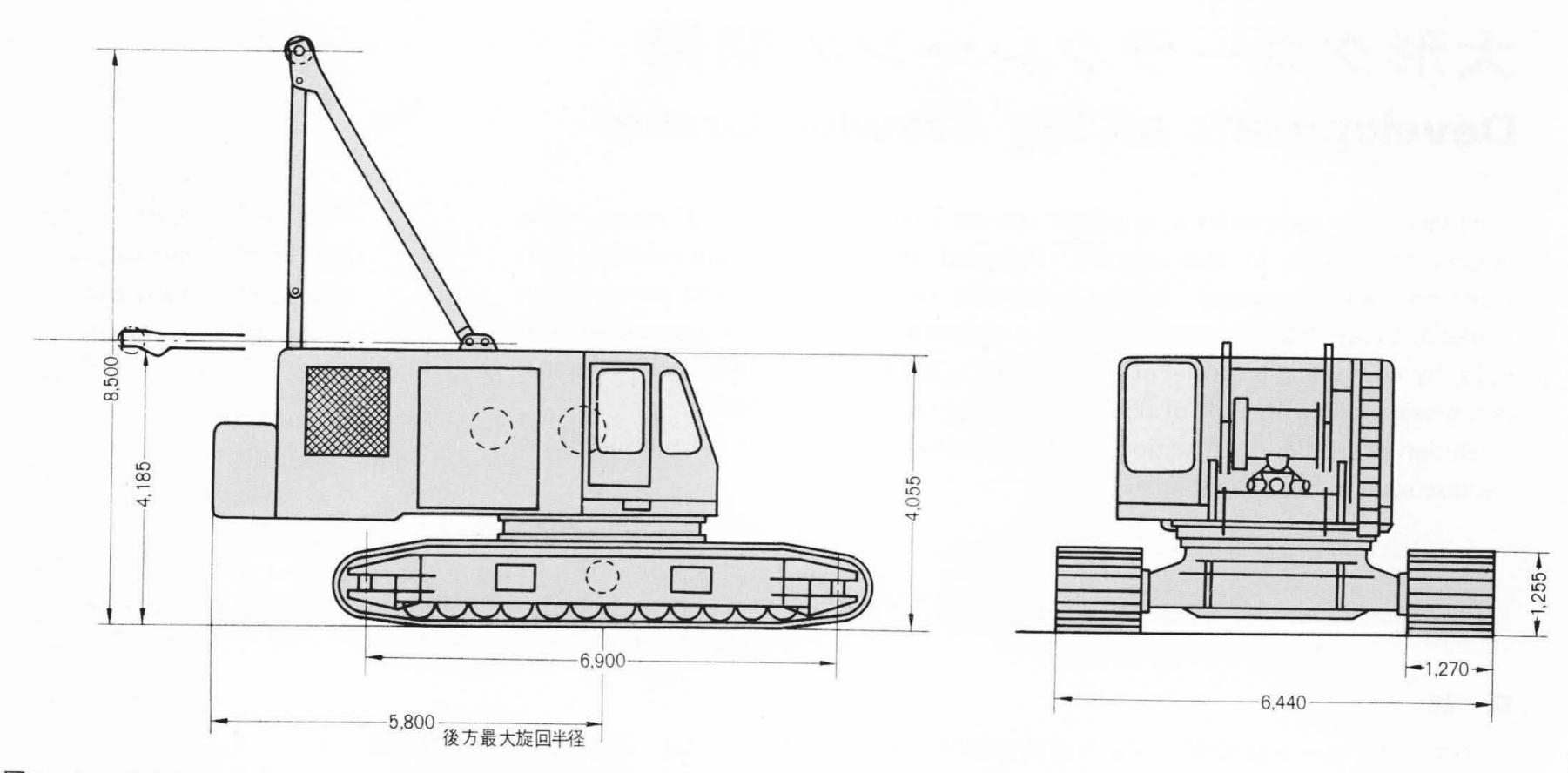


図 | KH900ベースマシン KH900クローラクレーンのベースマシンの外観および主要寸法(単位mm)を示したものである。

Fig. I KH900 Basic Machine

ら許容最高速度までの無段変速を可能にしている。補機回路, 制御回路はオープン回路とし,ギャポンプ,シリンダなどに より構成されている。

3.3 速度制御

速度制御は可変容量ポンプの斜板角を変えポンプの吐出し量を変化させることにより行なわれる。操作は運転室に設置するPPCバルブ(Proportional Pressure Control Valve)を操作レバーで動かす方式である。PPCバルブは図2のようにレバー操作角(PPCバルブストローク)に比例した二次圧を発生し、これをサーボパイロットシリンダに伝え、圧力に比例したサーボストローク、すなわち、可変容量ポンプの斜板角を変える。

本機はタワークレーンとして建方に使用される都合上,変

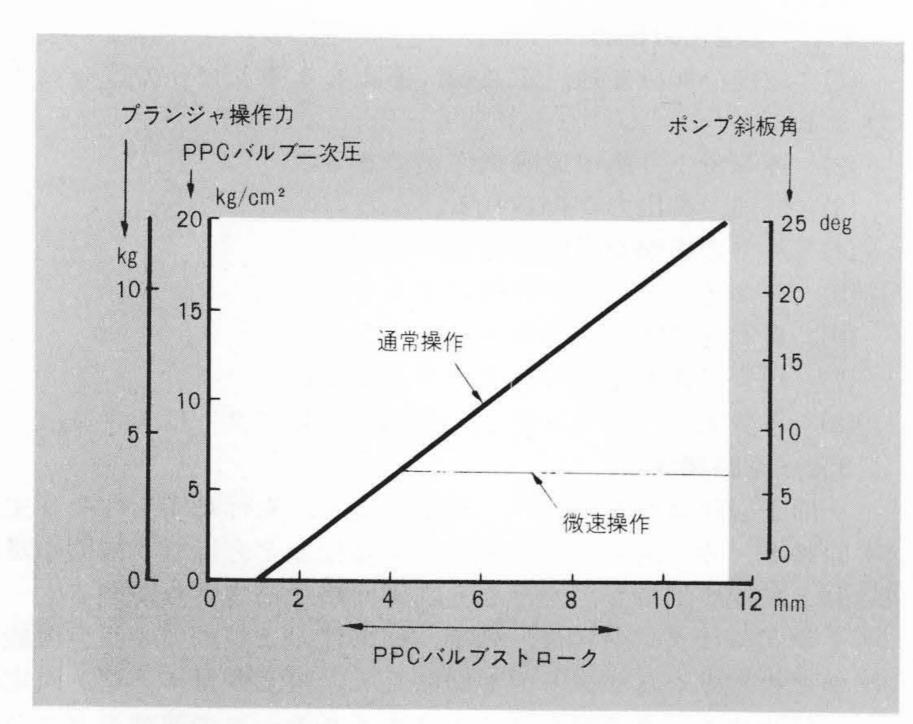


図 2 PPCコントロール方式 操作レバーの動きに比例して生ずる PPCバルブの二次圧とプランジャ操作力およびポンプ斜板角の関係を示したものである。

Fig. 2 PPC Control System

速と円滑な起動停止のできる特性を必要とし、従来の類似クレーンの操作レバーの動かし方(比較的速い)であっても0.1~0.15g程度の加減速が得られるように設計されている。巻上げ装置の駆動系からみると定常負荷をTlkg·cm²、回転部分の慣性モーメントをImkg·cm·s²、負荷の慣性モーメントをIlkg·cm·s²とおくと一般的に次の基礎式で表わされる。

$$(Im+Il)\frac{dw}{dt}+(R_2\cdot\mu\cdot Dm+\alpha)w=Dm(1-R_1)P-Tl\cdots(1)$$

ここで, w : 回転角速度 (rad/s)

Dm:油圧モータの回転1radあたりの流量(cc/rad)

P :有効圧力(kg/cm^2)

μ : 粘性抵抗 (kg·s/cm²)

α :回転抵抗 (kg·cm·s)

 $R_1 \cdot R_2$: モータの設計定数

t=0 において (静止しているとき) 圧力P がかかったとする。すなわち、急にレバーが操作され、ステップ関数C(t) として圧力が与えられると(1)式は下記のようになる。

$$a\frac{dw}{dt} + bw = f \cdot C(t)$$
(2)

これは一次系の過渡応答として,

$$w = \frac{f}{b}(1 - e^{-\frac{b}{a}t}) \cdots (3)$$

が得られ時定数Tは、

$$T = \frac{a}{b} = \frac{Im + Il}{R_2 \cdot \mu \cdot Dm + \alpha} \cdot \dots (4)$$

となる。本機の駆動系の時定数は全負荷時に0.6 秒以下,無負荷時に0.1 秒程度である。なお巻き下げに対する時定数は 巻き上げに比較して著しく小さい。

操作系はレバー角 θ を入力としてサーボの変位l(ポンプの斜板角)を出力とするもので、そのブロック線図は図3で表わされる。

よって全操作系の伝達関数G(s)は配管のむだ時間を入れると、

$$G(s) = \frac{K_1 \cdot K_2 e^{-LS}}{(1 + T_1 s) (1 + T_2 s)} \cdots (5)$$

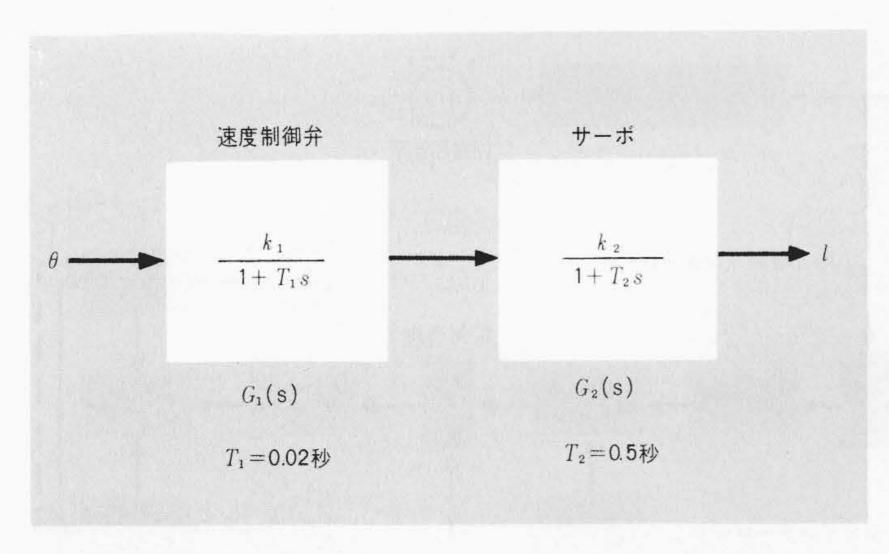


図 3 操作系のブロック線図 操作系の信号伝達の状況をブロック線 図で示したものである。

Fig. 3 Block Diagram of Control System

となる。しかし T_1 が T_2 に比較して小さいので本機の操作系では, $T_1=0$ とおいて近似することができる。ここでむだ時間はL=0.1秒以下となるようにしてある。

操作系の時定数は負荷に左右されることなく、駆動系の全 負荷時の時定数とほぼ等しく設定されているので起動時の過 渡的な昇圧がなく、しかもレバー操作方法に関係なく 0.1~ 0.15 g 以下に保つことができる。 図 4 は本機のサーボの過渡 応答に関するオシログラムである。

3.4 自動動力降下および馬力一定制御

クローズド回路の採用により特別の操作を行なうことなく主き、補巻、起伏のいずれも操作レバーを下げ側に動かすことにより自動的に動力降下となる。すなわち、クローズド回路においてレバーを下げ側にすればオイルモータは負荷によってポンプ作用を行なうが、一方可変容量ポンプはモータ作用として軸が回され、このポンプ軸の動力がエンジンで吸収される。したがってクローズド回路は動力の回生機能を有しており、エンジンの制動能力を有効に使うことができる。通常エンジンの制動能力はエンジン馬力の写程度であり、動力降下時にエンジンの制動能力以上の入力となった場合はエンジンがオーバランするので一般的にはブレーキとの併用で動力降下している。本機の動力降下にはつり荷の大きさを検出し自動的にポンプの斜板角を入力一定の特性に調整する自動

調速装置(馬力一定制御装置)を設けている。したがって操作が容易であり、かつ異常な回路発熱は全く発生しない。

3.5 油圧装置のユニット化

油圧装置は分解、組立を容易にし、配管上のトラブルをなくし、小形化を図るため、すべてユニット化されている。また配管を少なくするためできるだけマニホールド化してある。本機の油圧機器は9ユニットに分割配置され、うち4ユニットがマニホールド化されている。複雑な配管群の接続には集約形の接続方式が採用され、フールプルーフ(Fool Proof)化している。

3.6 動作系統の例

図6は本機の主巻動作系統図である。

4 クレーンフロント

KH900クローラクレーンは一般クレーン形状のほかにフロントの一部を変えることにより高所作業用としてのタワークレーン, 重作業用としてのカウンタバランスクレーンに使用できる。

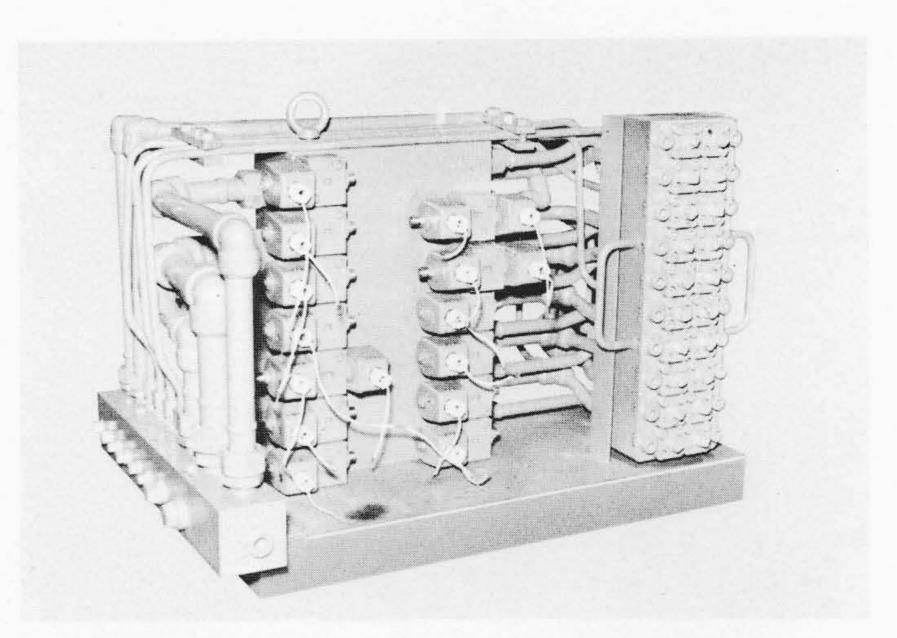


図 5 油圧ユニット 操作系バルブユニットの例,マニホールド化しバルブ間の配管をなくすと同時に操作系のバルブを 1 個所に集めユニット化したものである。

Fig. 5 Hydraulic Unit

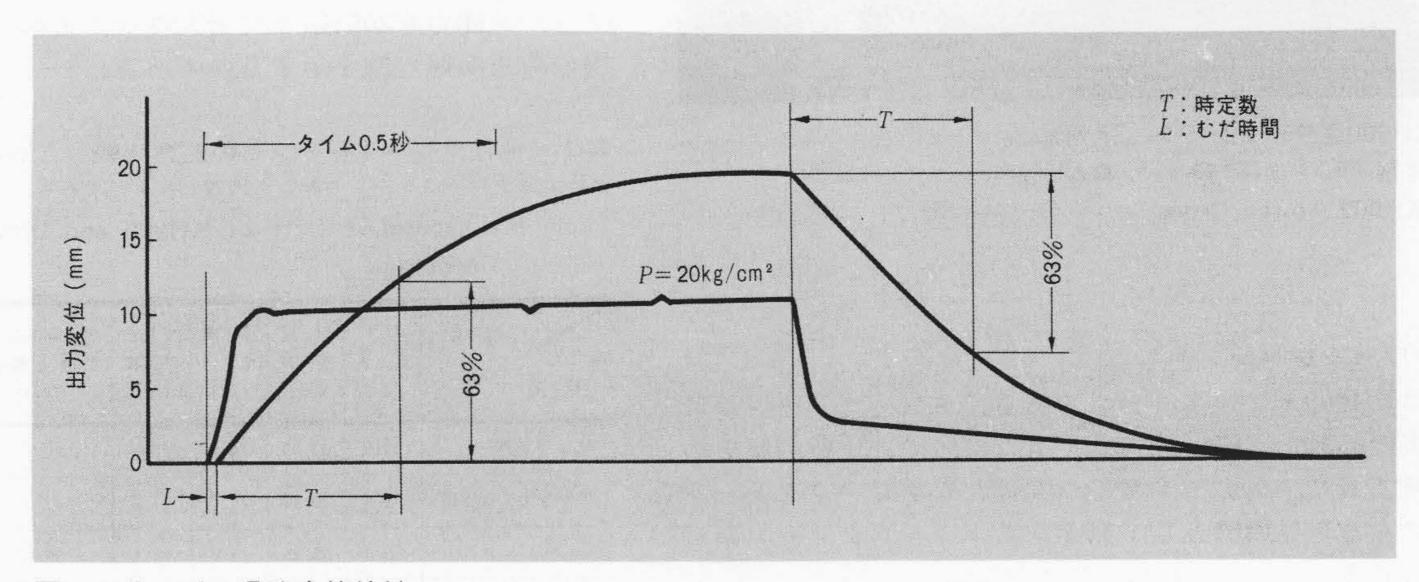


図 4 サーボの過渡応答特性 急激なレバー操作を仮定し、入力にステップ信号を加えたときのサーボ の応答特性をオシログラムにとったものである。

Fig. 4 Transient Response Characteristic of Servo

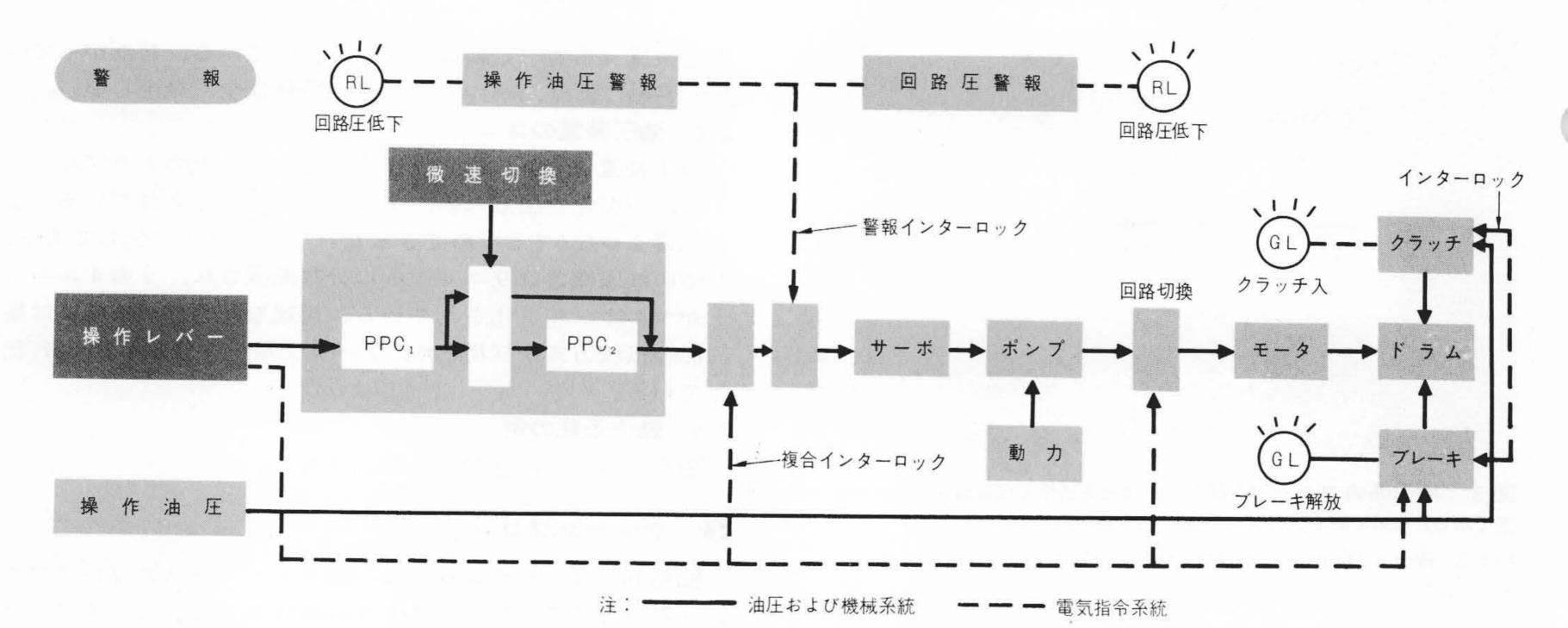


図 6 主巻動作系統図 主巻レバーを操作したときの信号伝達機構図である。誤操作および油圧系統に異常があった場合はドラムが回転しないようになっている。

Fig. 6 Systematic Block Diagram of Main Hoisting Motion

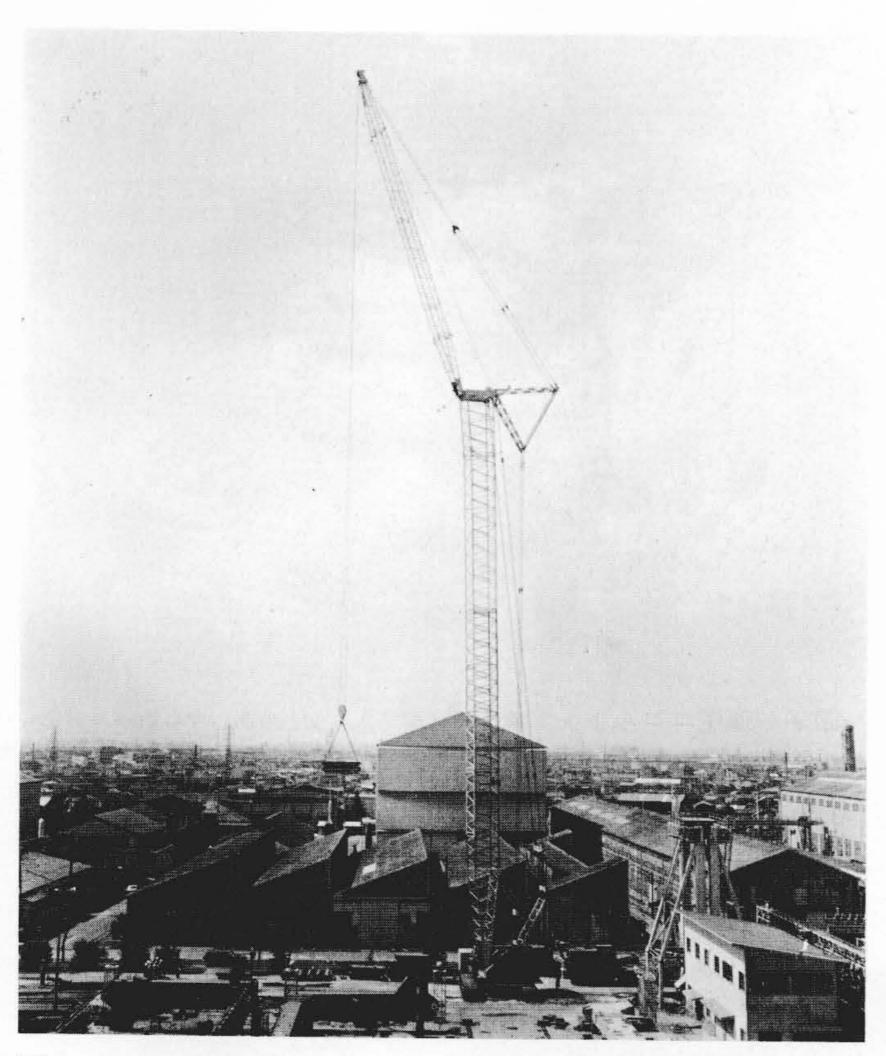


図 7 KH900タワークレーン 荷重試験中のKH900タワークレーン。 タワー高さ54.9m, ジブ長さ33.55m, 最大揚程86m, つり上荷重20t Fig. 7 KH900 Tower Crane

4.1 タワークレーン

図7はKH900タワークレーンである。タワークレーンは最近の建築の高層化に伴い発達してきたもので、比較的歴史の浅い機種であり、ショベル系から発達したクローラクレーンよりもクレーン専用機として発達したトラッククレーン系に多く見られる。

タワークレーンはタワーを垂直に固定して使用するため、 一般クレーンのようにブームを斜めにして使用するものより ふところを広くとることができるので、対象物が近接する建築工事などに威力を発揮する。タワークレーンのつり上げ能力は一般クレーンに比べ小さいが、これはタワーを垂直に立てごブ作業をするため長柱の座屈、ねじり力のかかり方など強度的に種々の制約を受けるためである。

タワークレーンの能力はタワー高さおよびタワー先端に連結されるジブの長さにより大きく変わり単純に比較することはむずかしいが、現在世界最大級のものとしてはタワー高さ40~50m、ジブ長さ20~40m、つり上げ荷重15~20 t クラスのものがあり、これらはいずれもトラッククレーン系である。

KH900タワークレーンはタワー高さ54.90m, ジブ長さ33.55 m, つり上げ荷重は作業半径14mにおいて20 t であり, 世界最大級のものである。本機は国内の火力および原子力発電所, その他大形構造物の建設工法に大きな影響を及ぼすものと考えられ, 大幅な工期短縮の可能性を示唆している。表1 は他社タワークレーンとの能力比較を示したものである。

4.2 カウンタバランスクレーン

図8はKH900カウンタバランスクレーンである。カウンタバランスクレーンは一般クレーンの安定限界で制限される範囲の能力を最大限に活用するために開発されたものであり、後方付加荷重を装備することによりベースマシンを換えずにクレーン能力を200t級まで増大させたものである。図9は本機の荷重曲線の例を示すものである。

表 I 他社タワークレーンとの能力比較 KH900タワークレーンと 他社大形タワークレーンの能力を比較したものである。

Table I Comparative Data of KH900 and Other Tower Crane Capacities

項目社名	タワー 高 さ (m)	ジ ブ 長 さ (m)	作 業 半 径 (m)	つり上 げ荷重 (t)	ポイントシー ブ地上高さ (m)	備考
日立 KH900	54.9	33.55	14	20	90	クローラ系
アメリカ・A社製	48.8	30.48	15.2	21.6	77	トラッククレーン系
" • B "	50.0	33.55	13.7	15.1	83.5	"
" · C "	48.8	33.55	15.2	12.4	83	"
アメリカ・D社製	44.1	30.48	13.7	16.2	72	トラッククレーン系

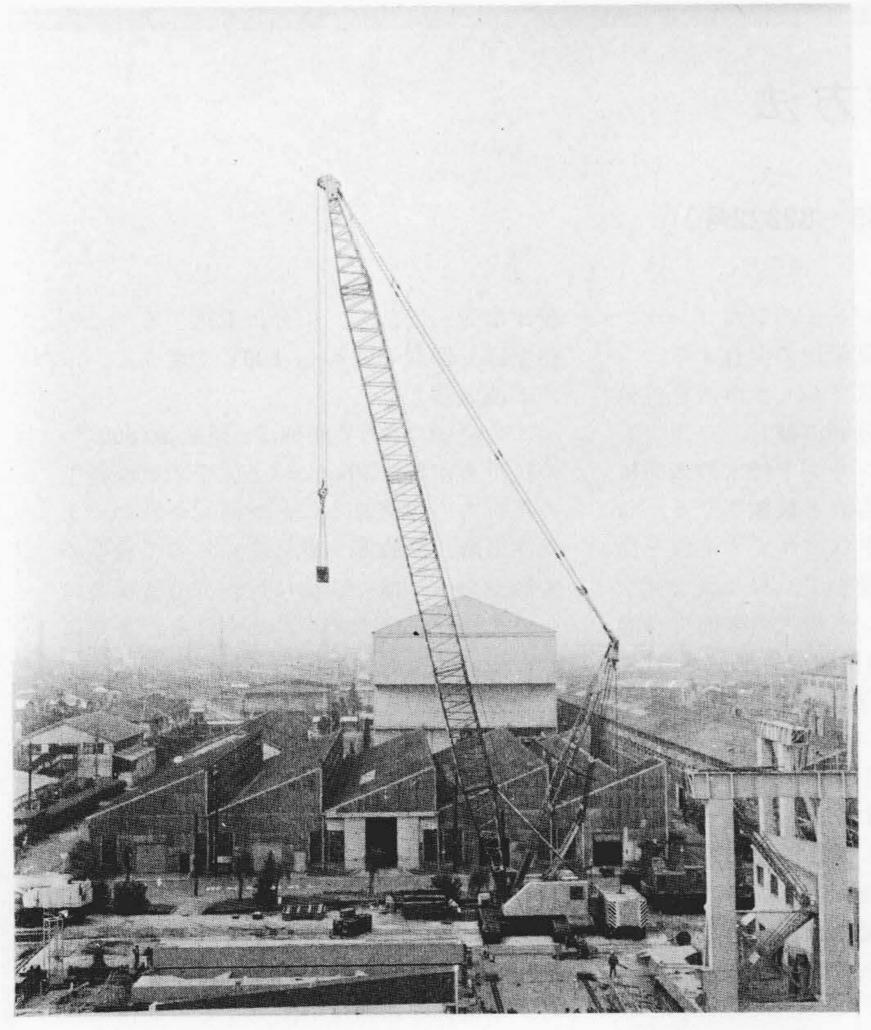


図 8 KH900カウンタバランスクレーン 荷重試験中のKH900カウンタバランスクレーン。ブーム長さ57.95m, 作業半径I3m, つり上げ荷重5It Fig. 8 KH900 Counter-balance Crane

4.2.1 カウンタバランス化の背景

一般クレーンの荷重曲線はクレーンの機械強度から決まる範囲と転倒限界(安定度)から決まる範囲により構成される。 図10において曲線①はクレーンの転倒を無視し、ブームの応力が一定になるようにつり上げ荷重を決めたときのものであり、曲線②はブームの強度を無視し、クレーンの安定度を一定にしてつり上げ荷重を決めたときのものである。曲線①②はC点にて交差しつり上げ荷重Wは作業半径Rが $R_1 \le R \le R_2$ の範囲で曲線①すなわち、ブーム強度により決まり $R_2 \le R \le R_3$ の範囲で曲線②すなわちクレーンの安定により決まる。

従来の一般クレーンの荷重曲線はこのようにして決められており、 $R_1 \leq R \leq R_2$ の範囲では安定度に、 $R_2 \leq R \leq R_3$ の範囲ではブーム強度に余裕を持っている。カウンタバランスクレーンの開発にあたってはこの点に着目し、後方付加荷重を装備し図8に示す構造にすることにより作業半径 $R_2 \leq R \leq R_3$ の範囲のつり上げ荷重をブーム強度で決まる曲線①に近づけ、実際の荷役作業でのつり上げひん度の高い荷重分野の作業半径を大幅に広げ、クレーンの有効的かつ経済的な使い方を可能にしたものである。

4.2.2 後方付加荷重の自動つり上げ化

カウンタバランスクレーンの後方付加荷重のとり方には種種の方法が考えられるが、カウンタバランスクレーン形状にしたときでも一般クレーンと同じ動作ができれば理想的である。

KH900カウンタバランスクレーンでは、つり上げ荷重およびブーム角度をひずみゲージ式荷重変換器および角度、電圧変換器によりそれぞれ検出し、出力の相対関係をあらかじめ予想で決められた関数値に比較させ、許容値を越えたときに

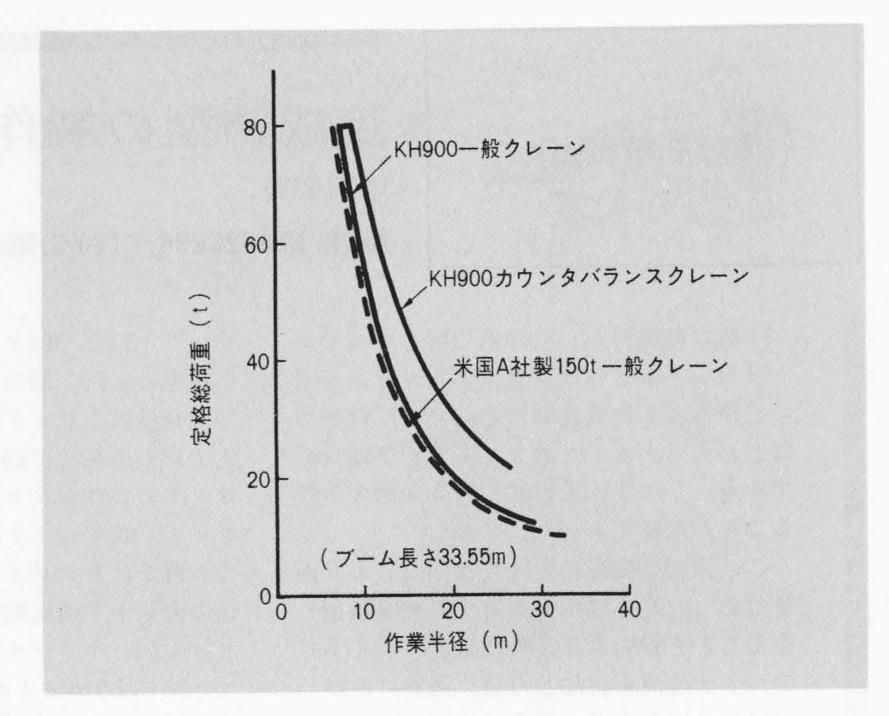


図 9 KH900クローラクレーンの能力 ブーム長さ33.55mにおける KH900 一般クレーンとカウンタバランスクレーンおよびアメリカ・A社製I50t 一般クレーンのつり上げ能力を比較したものである。

Fig. 9 Capacity of KH900 Crawler Crane

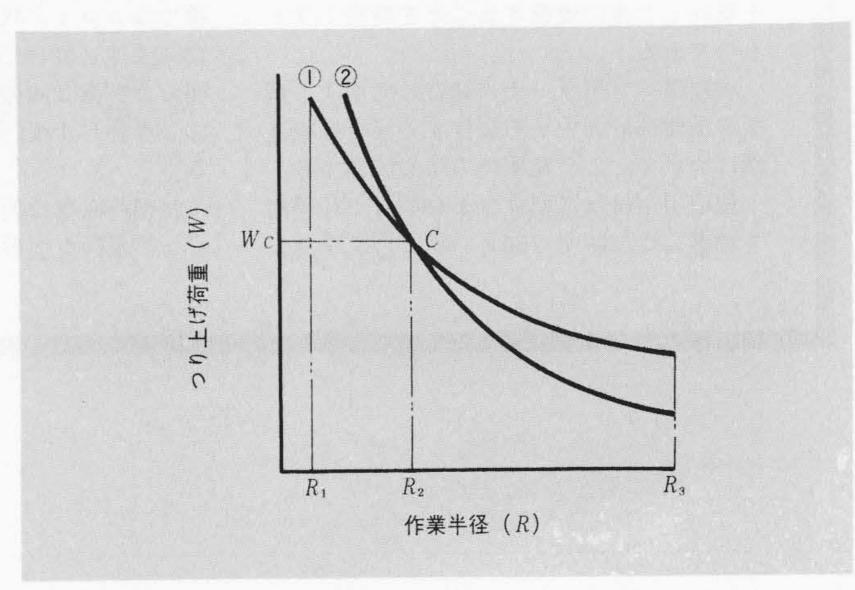


図10 一般クレーンの荷重曲線の構成 一般クレーンの荷重曲線はブーム強度により決まる範囲とクレーンの安定により決まる範囲により構成されている。

Fig. 10 Constitution of Load-Radius Diagram of Standard Crane 後方付加荷重のつり上げ指令を発生させ,後方付加荷重が自動的につり上げられる機構になっている。具体的には一般クレーンの定格荷重をつったときに生ずる起伏ロープ張力 Pr_1 をあらかじめ関数発生器に記憶させておき,荷重をつったときに発生する起伏ロープ張力Prと,そのときのブーム角度 θ を連続的に検出し $Pr\cdot\theta \geq Pr_1\cdot\theta$ であればつり指令, $Pr\cdot\theta < Pr_1\cdot\theta$ であれば下げ指令を出し,後方付加荷重は自動的に操作され,前方安定度および後方安定度を確保するようにしたものである。

5 結 言

以上、KH900クローラクレーンの開発設計方針およびカウンタバランス化の背景などについて述べた。本機の1号機は日立プラント建設株式会社へ納入され、東京電力株式会社鹿島火力発電所(出力1,000,000kW)の建設現場において大幅な工期短縮をめざして稼動中であり、すでに作業性、操作性などについて高い評価を得ている。ここに本機の完成にあたり、ご指導とご協力をいただいた日立プラント建設株式会社および萱場工業株式会社の関係各位に厚くお礼を申し上げる次第である。