

アンローダのバケット自動振れ止め制御

Automatic Anti-Swing Control of Unloader Bucket

Automation of unloader operation has proved practical after several years of research and experiments, and in the bucket type unloader whether the swinging of its bucket can be controlled automatically or not holds the key to successful automation of the whole system. The article introduces an electrical anti-swing control system, developed by Hitachi, which is achieving favorable results in application.

山本範男* Norio Yamamoto
関山喜郎* Nobuo Sekiyama

1 緒言

時代の要求により各種の自動化、省力化が進められているが、鉱石・石炭・木材チップなどを船から陸揚げするアンローダにおいても、ここ数年来自動化が進められている。ロープにつられたバケットを使用するアンローダでは陸揚げの際、バケットはこれにつながる横行トロリの移動によって振り子運動をするため、目的の位置にバケットを停止させることがむずかしく、アンローダ運転者はこのため熟練に長い期間を必要としていた。また、この振れの問題は自動化および無人化に際し、大きな支障となっていた。したがって、このバケットの振れを自動的に停止させることが、自動化を行なうための最初の必要条件であると考えられる。

今回、このバケットの振れ止め制御を採用した例として、400t/hロープトロリ式アンローダ(2基)、1,500t/hクラブトロリ式アンローダ(1基)を完成し、ともに当初の目的を達成することができたので、成果と制御方式の概略を述べて関係者各位の参考に供したい。

2 アンローダのおもな仕様

今回振れ止め制御装置を設置したアンローダのおもな仕様は表1に示すとおりである。アンローダの種類としてロープトロリ式とクラブトロリ式の2種、横行の駆動制御方式として、サイリスタレオナード方式とワードレオナード方式の例を示すことにする。

3 振れ止め制御の解析

クレーンなどの運搬機においてつり荷を速く運ぶためには、運転速度と加減速度を高くすることが必要となってくる。しかし、これらを高くすることは反面つり荷の振れ角度を大きくすることになる。これは言うまでもなく、クレーンの操作をむずかしくするとともに、危険を増すことになりかねない。運搬をより能率よく行なうためには、この速度および加減速度を大きくすることが必要条件となるため、つり荷の振れ止めが重要なポイントとなる。アンローダにおいては特にこの必要性が大きい。

日立製作所ではすでに数年前から、この振れ止め制御に関する研究が進められており、すでに実機にも装備されてその性能が確認されている。

ここでは詳細内容については省略するが解析の概略について述べ、実機に応用した場合の問題点を含めて解説する。

3.1 アンローダのつり荷の運転軌跡

振れ止め制御を解析するためには、つり荷の動作を知ることが第一の条件となる。アンローダには次の5種類のおもな動作がある。

- (1) 巻上げ・巻下げ：バケットを含めつり荷を上下させる動作
- (2) 開・閉：バケットの開、閉の動作
- (3) 横行：バケットを海側から陸側へおよび陸側から海側へ移動する動作
- (4) 走行：アンローダ全体を岸壁に平行に移動する動作
- (5) 俯仰(ふぎょう)：船のマストなどの障害物をかわすためのカンティレバークラダの上下動作

これらの動作中、バケットの振れは、横行または走行を行なうことによって生ずる。しかし、走行の運転速度および加減速度は小さいため、通常運転ではほとんど問題にならない。したがって、横行により生ずる振れが問題となる。この振れの振幅および周期はトロリの運動のみでなく、巻上速度およびロープ長などの関数となるため、これらの考慮が必要である(図1参照)。

3.2 振れ止め制御の方法

つり荷の振れ止め制御を行なうには次のような方法が考えられる。

- (1) 実際の振れ角を検出してフィードバックする制御方法
 - (2) 前もって振れ角を予測したプログラムによる制御方法
- これらは、それぞれ長所、短所がありその適用には、制御方法の特徴を十分考慮することが重要である。

表1 アンローダのおもな仕様 アンローダの種類により制御方式は変わるが、今回採用した2種のアンローダについて比較したものである。

Table 1 Specification of Unloaders

項目	方式	ロープトロリ式	クラブトロリ式
	能力		400t/h
取扱物		木材チップ	鉱石、石炭
制御方式		サイリスタレオナード	ワードレオナード
横行速度		160m/min	180m/min
振れ止め制御方式		プログラム方式	プログラム方式
位置検出器		リニアシンクロ発信器	磁気検出器

*日立製作所大みか工場

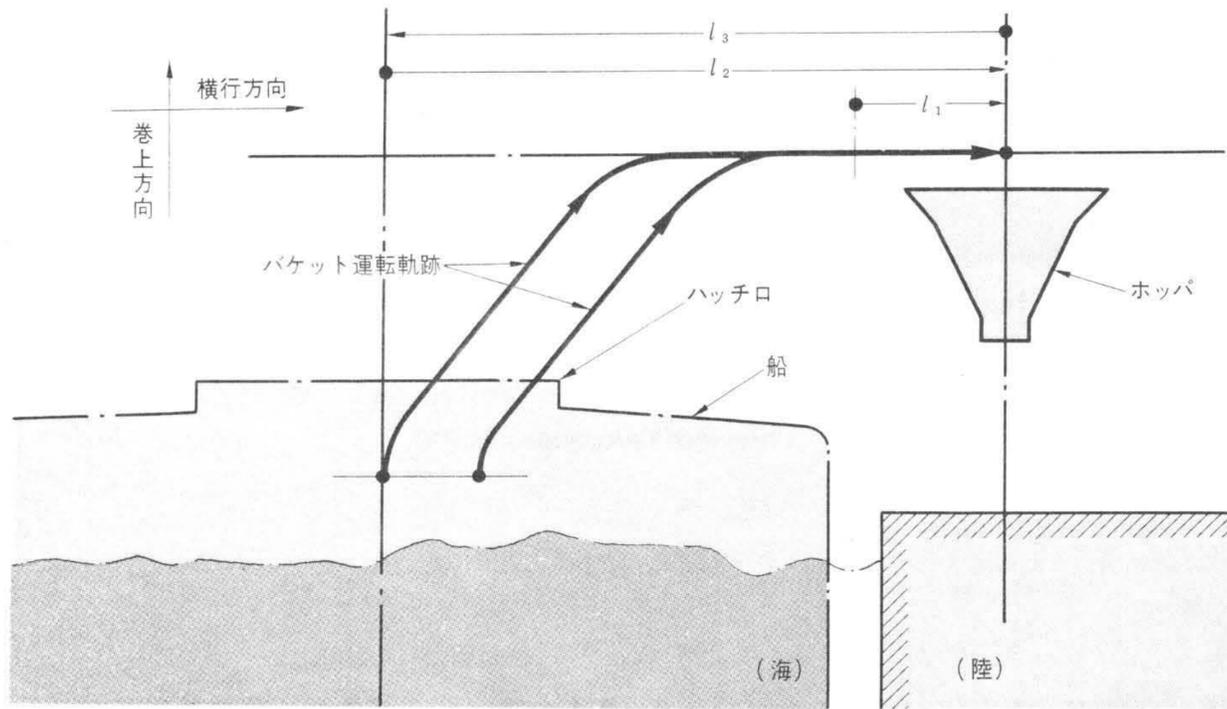


図1 バケット運転軌跡および振れ止め区間 アンローダ運転におけるバケットの通る軌跡と振れ止め制御を行なう制御区間を示すものである。

Fig. 1 A Course of Unloader Bucket and Anti-Swing Control Section

3.2.1 振れ角フィードバックによる振れ止め制御

この方法はバケットをつつて移動する横行トロリの加速および減速、またはその他の外乱により生じたロープ（すなわち、つり荷）の振れの大きさを検出し、その大きさを制御系にフィードバックして振れ角が減少する方向に横行速度を制御しようとするものである。図2はそのブロックダイアグラムである。横行加減速を行なうとバケットは、トロリの加減速方向と反対方向に振れ角が増加する。ゆえに、検出した振れ角をフィードバックする場合、正帰還フィードバック制御を行なうことになる。また、これに定位置の停止制御を行なう場合は、この振れ角フィードバックの外側のループでバケット位置の負帰還を加えることでその目的が達成される。

3.2.2 振れ角予測プログラムによる振れ止め制御

ある定められた軌跡に合わせて運転されるバケットは、ほとんどの場合、同じ振れの状態となる。したがって、この振れをあらかじめ推測し、トロリの動きに対してバケットが振

れを生じないように予測プログラムによる振れ止め制御が可能である。すなわち、振れを生じさせる横行トロリの速度をON・OFFの速度指令により制御すればよいわけである。最適制御の理論により、 n 次の線形系は $(n-1)$ 回の切り換えによって最適時間制御が実現されることが証明されていることから、この制御方法が可能であるといえる。

図3はプログラム方式のブロック図を示すものである。

この方法で振れ止め制御を行なうには、アンローダ運転範囲におけるバケットの動作の解析が必要であり、計画にあたり横行トロリの運転距離、巻上動作によるロープ長さの変化範囲を調べ、横行速度プログラムを決定することが必要になる。

ここで、もし、振れ止め制御を行なわないで運転した場合を考えると、当然のことながら、横行距離の違う区間で運転された場合、停止点における振れ角の大きさはそれぞれ異なったものとなる。このことを考えると、実際の振れ角が制御

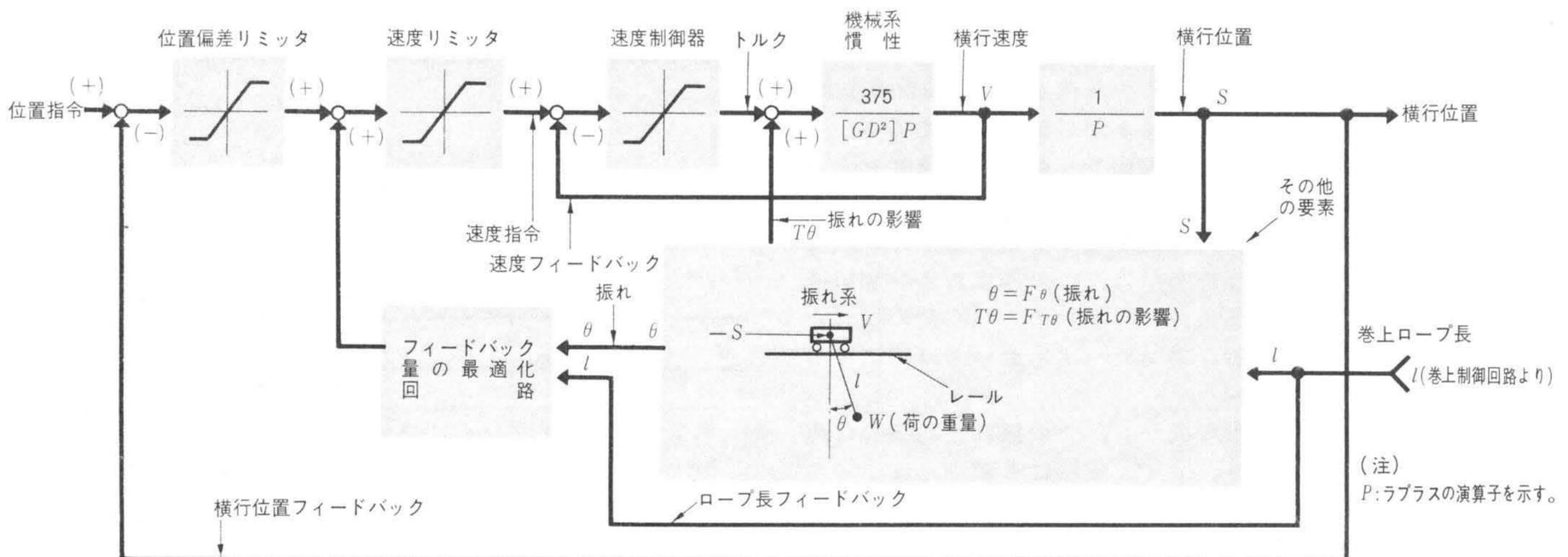


図2 フィードバック方式自動振れ止め制御ブロック図 フィードバック方式の制御回路と機械系を含むブロックダイアグラムを示すものである。

Fig. 2 Automatic Anti-Swing Control Block Diagram for Feed Back Control

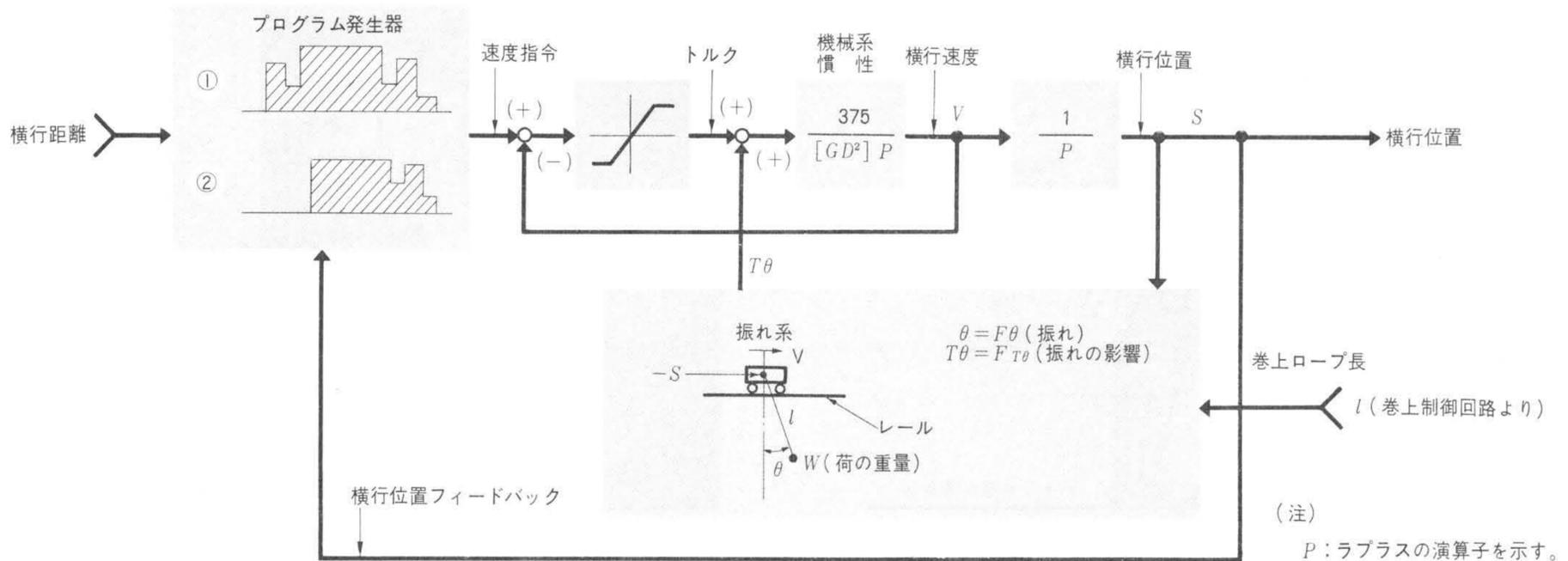


図3 プログラム方式自動振れ止め制御ブロック図 プログラム方式の制御回路と機械系を含むブロックダイアグラムを示すものである。

Fig. 3 Automatic Anti-Swing Control Block Diagram for Program Control

系に条件としてはいらないこのプログラム方式の振れ止め制御では、前もって数種類のプログラムを決めておき、横行運転の距離などの初期条件により最適なプログラムを1種類選択して行なうことが、必要となる(特許出願中)。

3.2.3 フィードバック方式とプログラム方式の特徴

3.2.1および3.2.2で述べたそれぞれの方式は、その制御方式の違いから表2に示すような特徴がある。

これらの特徴は、適用されるアンローダの必要とする性能と設置条件を考慮して選択することが重要である。

4 実際の振れ止め制御

前項に述べたように、フィードバック方式およびプログラム方式にはそれぞれ長所、短所があり採用するにはそれぞれの条件を考慮する必要がある。今回は制御装置の設置条件の関係からプログラム方式を採用することにしたので、本項ではプログラム方式についてのみ述べることにする。

4.1 振れの生ずる原因

バケットの振れが生ずる原因(要素)についておもなものをあげると次のようになる。

- (1) トロリの加減速によるもの(θ_1)
- (2) 風などの外乱によるもの(θ_2)
- (3) 初期条件としてあるもの(θ_3)
- (4) レールおよびロープのしごきによる振動によるもの(θ_4)

これらの総和がおもに最終的振れ角に影響するものと考えられる。しかし実際には、 θ_2 、 θ_4 は運転上問題にならないものであり θ_1 と θ_3 を制御上考慮すればよいことになる。

4.2 許容振れ角度

バケットの振れ角度をゼロにすることが理想的ではあるが、実際には非常に困難なことである。また実際の運転においてはその必要もない。したがって、実際の運転にさしつかえない振れ角度の許容値を決める。この許容振れ角度は船のハッチの大きさおよびホッパの大きさなどに関連して決定される。船のハッチ側で振れ止め制御を行なう場合は、船のハッチに衝突しない範囲で許容振れ角を決め、ホッパ側で行なう場合はバケットからの掴(つか)み荷がホッパの外にこぼれ出ない範囲で許容振れ角を決定するのである。しかし運転のしやすさから考えて上記の範囲をできるだけ小さく制御することが

表2 振れ止め制御方式の特徴比較 振れ止め制御方式の長所、短所を比較したものである。

Table 2 A Characteristic of Anti-Swing Control

方式項目	フィードバック方式	プログラム方式
利点	(1) 振れ角の初期値に無関係に最終値を一定にできる。 (2) 制御系の計画が比較的簡単。	(1) 振れ角検出器が不要。 (2) 目的値到達まで要する時間が小。 (3) 制御装置が簡単。 (4) 簡単な操作により初期条件を一定にできるのでプログラムが単純となる。
欠点	(1) 目的値到達までに要する時間大。 (2) 振れ角検出器を必要とする。	(1) プログラム計画がむずかしい。 (2) 初期条件が異なると残留振れ角が大きくなることもある。

好ましいことは言うまでもなく、可能な限り振れ角度を小さくするようにプログラムを設定する。

4.3 振れ止めプログラム

アンローダにおける振れ止め制御の種類として次のような場合が考えられる(図1参照)。

- (1) ホッパ上のみ振れ止め(図1 l_1 区間)
- (2) 船のハッチからホッパ上までの振れ止め(図1 l_2 区間)
- (3) 船のハッチからホッパ上までの往復区間の振れ止め(図1 $l_2 + l_3$ 区間)

上記(1)、(2)、(3)のそれぞれの振れ止めは、アンローダの運転方法により必要に応じて決められる。ゆえに振れ止めプログラムもそれぞれに適合するものを設定する必要がある。

(1)では船の位置に関係なく制御が可能である(船のハッチからのバケットの出し入れは手動で行なう方式とする)(2)、(3)の場合は船のハッチの位置を振れ止め制御の一つの条件として与えることが必要となる。すなわち、この振れ止めプログラムはこの位置変化を含めて考えなくてはならない。理想としてはハッチの位置を常に検知することにより、その位置からの制御条件に合ったプログラムを設定することが望ましいのである。しかし、船のハッチは積荷の重さと水位の干満

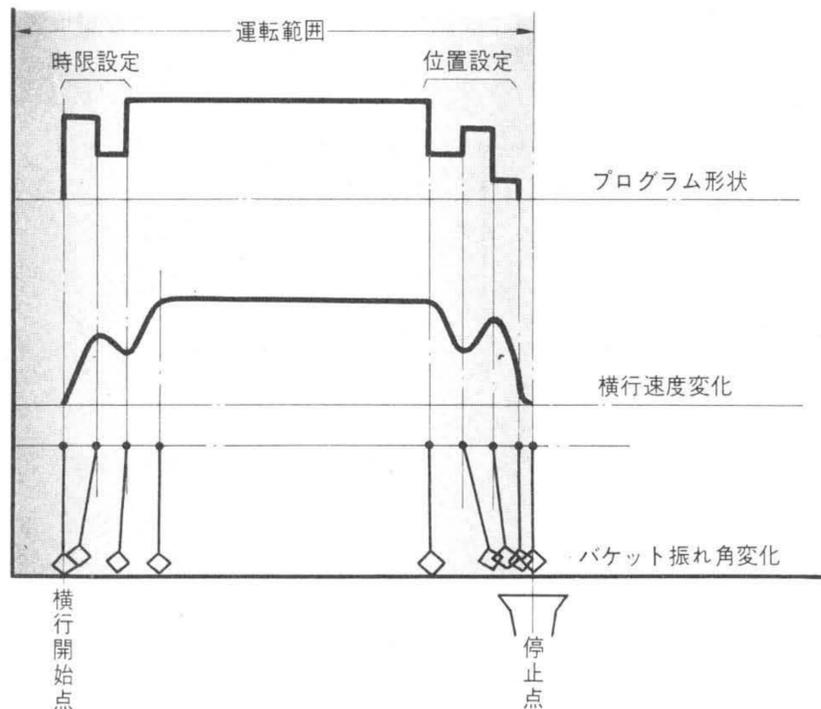


図 4 (a) 振れ止めプログラムと振れ角変化(その 1) 振れ止めプログラムによるバケットの振れ角変化と横行トリ速度を併記したものである(横行距離の長い場合)。

Fig. 4 (a) Anti-Swing Control Program and Shift of Swing Angle (No. 1)

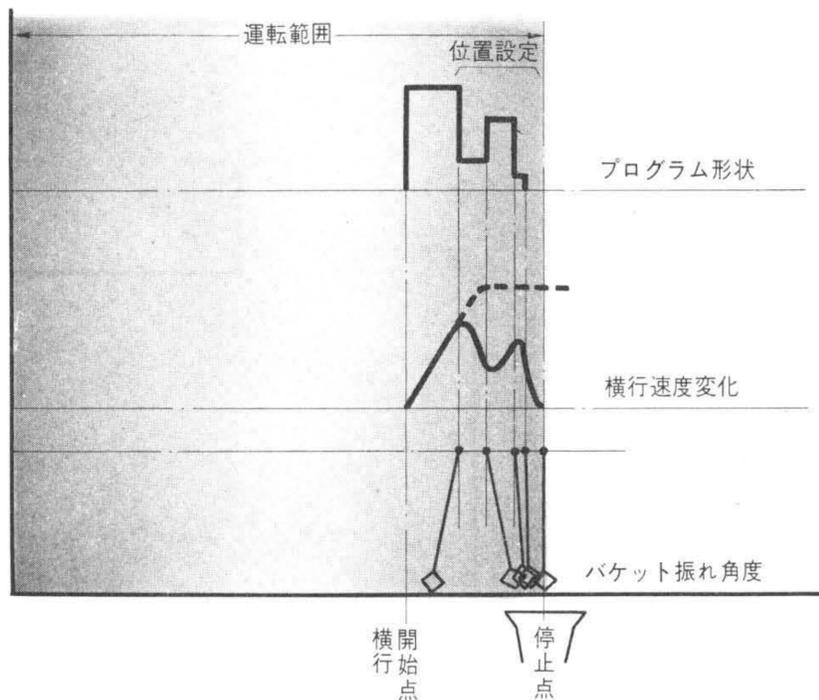


図 4 (b) 振れ止めプログラムと振れ角変化(その 2) 振れ止めプログラムによるバケットの振れ角変化と横行トリ速度を併記したものである(横行距離の短い場合)。

Fig. 4 (b) Anti-Swing Control Program and Shift of Swing Angle (No. 2)

および波の動きなどにより常にその位置を変えていることから、プログラムをその都度変化させることは非常に複雑であり、これを実現させるのは経済的にも不利である。

4.4 実際の振れ止めプログラム

4.3 で述べたように理想的なプログラムを設定することは困難なため、実際の場合について考え、運転上さしつかえないプログラムを決定する。図 4 (a), (b) は前記 4.3 (2) の場合について実際のプログラムを示すものである。このプログラムは大別して、トロリの加速時(船のハッチ側)の減速時(ホッパ側)に対してそれぞれ振れ止めプログラムを設定する方法である。ハッチ側でのプログラム(すなわち加速時のプログラム)は、トロリの加速によって生ずる振れ角をなくすように設定され、ホッパ側でのプログラム(すなわち、減速時のプログラム)は、トロリが停止する際の減速により生ずる振れ角をなくすように設定される。

このプログラムは加速時のプログラムを時間設定とし、減速時のプログラムを位置設定とした ON, OFF 制御となっている。しかし、上記のプログラム 1 種類では、横行距離が短い場合、もし加速が完了しない間に減速が開始されるようなことがあると加速時のプログラムと減速時のプログラムとが重複して、計画された振れ止めプログラムが成立しなくなり、振れ止め制御ができなくなってしまう。このような不具合を解消するために、加速が完了しないうちに減速を開始するような運転距離にある場合は、加速時のプログラムをやめて減速時のみのプログラムにするように横行運転距離を検出して切換設定をする。このようにプログラムを切換設定することにより、どのような位置から運転が開始されても、トロリの停止位置での最終振れ角が許容振れ角以内にはいるように制御できる(特許出願中)。プログラム制御を実施するにあたって振れ止め制御系をデジタルコンピュータによるシミュレーションで解析し、プログラムを設定する手がかりとした。このシミュレーション結果は図 5 (a), (b), (c) に示すとおりである。

図 5 (a) は振れ止めプログラムなしの場合

図 5 (b) は加減速時プログラム付の場合

図 5 (c) は減速時のみプログラム付の場合

5 実施結果

5.1 ロープトロリ式アンローダ

サイリスタレオナード制御方式により横行速度制御を行なった場合で、振れ止め制御は、4.3 (1) の方法としたものである。この方法で制御した結果を、同一条件でオペレータ(アンローダ運転者)が振れ止め操作した場合と比較すると、振れ角の状態はほとんど同じ形となりプログラム設定の正しいことがわかる。実際バケットの先端での振れ幅は 1 m 以内に制御された。

5.2 クラフトロリ式アンローダ

ワードレオナード制御方式により横行制御を行なった場合で、振れ止め制御は、4.3 (2) の方法としたものである。この制御方法を採用するためには、前記図 4 (a), (b) に示す 2 種類のプログラムを切り換えて用いる必要がある。この 2 種類のプログラムを運転距離により自動的に切り換えて、船のハッチからホッパ上までの間において振れ止め制御を行なった。図 6 は、2 種類のプログラムによる振れ止め制御を行なった場合の横行速度とバケットの振れ角度の実際の変化を示したものである。結果としてはホッパ上において、バケットの先端の振れ幅は 1 m 以内に制御され、当初の目的を十分に達成することができた。特に図 6 の加速時に振れ止めを行なうプログラムでは加速時に生ずる振れ角を減速開始点でほとんどなくすことができたため、減速時のプログラムの初期条件があらゆる場合においてもほぼ一定となり、最終的に残る振れ角の違いが非常に小さくなっている。なお、クラフトロリ式アンローダでは、ロープトロリ式アンローダに比べて、トロリの慣性が高いことと減速度が小さいことが関係して、減速時のプログラムの形状が、順次減速する形となり、再加速を必要としなかったことが見られた。

6 結 言

今回、実施したプログラム方式自動振れ止め制御は、ホッ

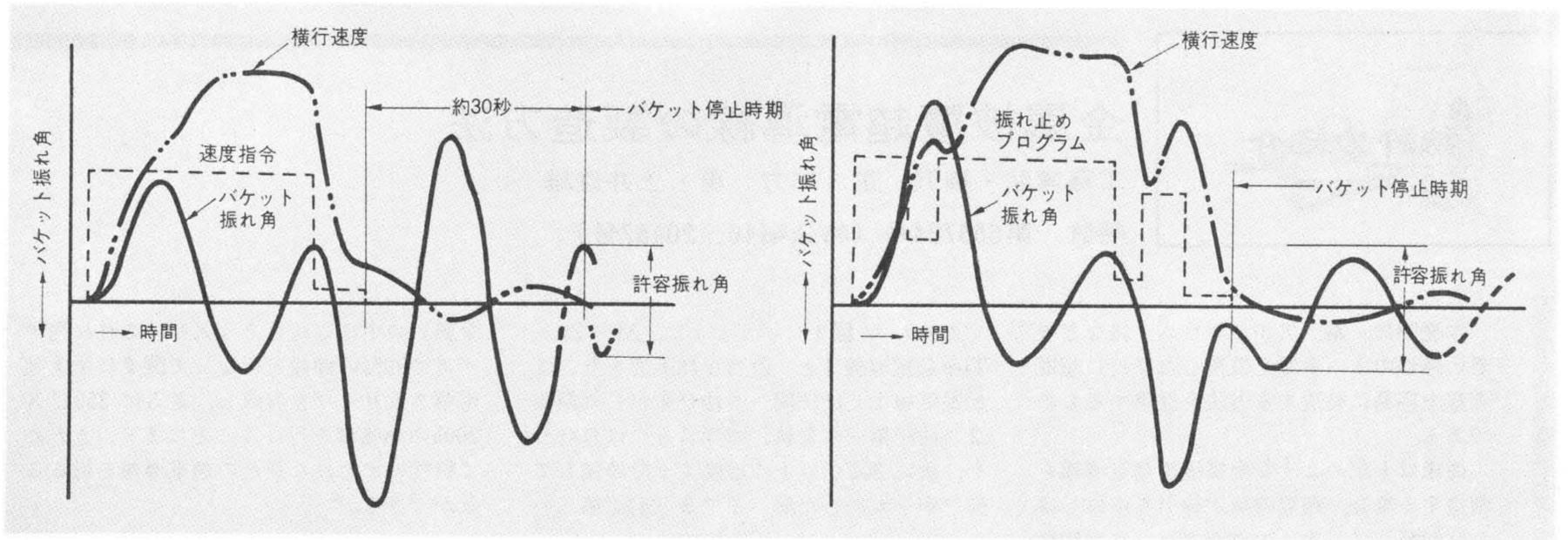


図 5 (a) 振れ止めシミュレーション(振れ止め不付) 振れ止め制御のプログラム方式をコンピュータ ダイナミック シミュレーションした結果を図示したものである。

Fig. 5 (a) Simulation Graph of Anti-Swing Control (no control)

図 5 (b) 振れ止めシミュレーション(振れ止め付) 振れ止め制御のプログラム方式をコンピュータ ダイナミック シミュレーションした結果を図示したものである。

Fig. 5 (b) Simulation Graph of Anti-Swing Control (control)

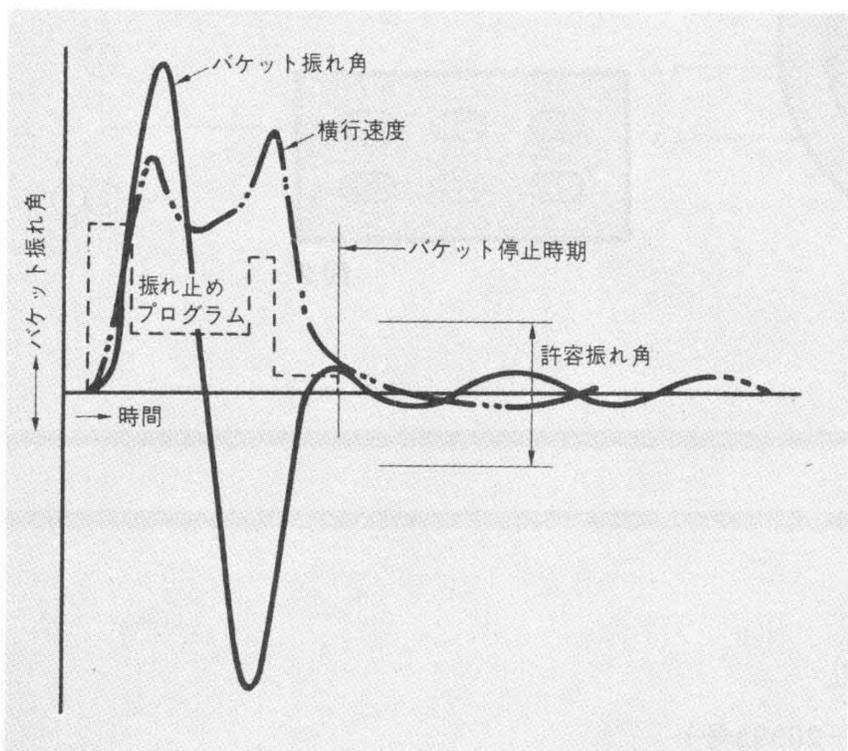


図 5 (c) 振れ止めシミュレーション(振れ止め付) 振れ止め制御のプログラム方式をコンピュータ ダイナミック シミュレーションした結果を図示したものである。

Fig. 5 (c) Simulation Graph of Anti-Swing Control (control)

パ上のみの振れ止めおよび船のハッチからホッパ上までの振れ止めという 2 種類のものであり、両者とも良好な結果が得られたが、プログラム制御としてさらに改善を要する点はある。また制御装置を計画するにあたりバケットの振れを予測してプログラムを決定するのであるが、実際の場合との誤差をあらかじめ考慮し、設定調整可能な装置とすることが重要である。

振れ止め制御を行なうということは、運転操作のむずかしさを解消するだけでなく、省力化の見地から、アンローダ全体の自動運転をなすうえで一つの問題の解決となるものである。

将来もここに述べたような方式のアンローダが、ばら物の陸揚げに使用されるものとするれば、この種のアンローダの自動運転を行なうには、まず、船の位置を正確に検知し、その位置を制御条件として用いることが自動運転には欠かせないものになる。今後この検出装置を開発することが振れ止め制御を含むアンローダの自動運転を行なうための重要なポイントを占めるものであると考えられる。

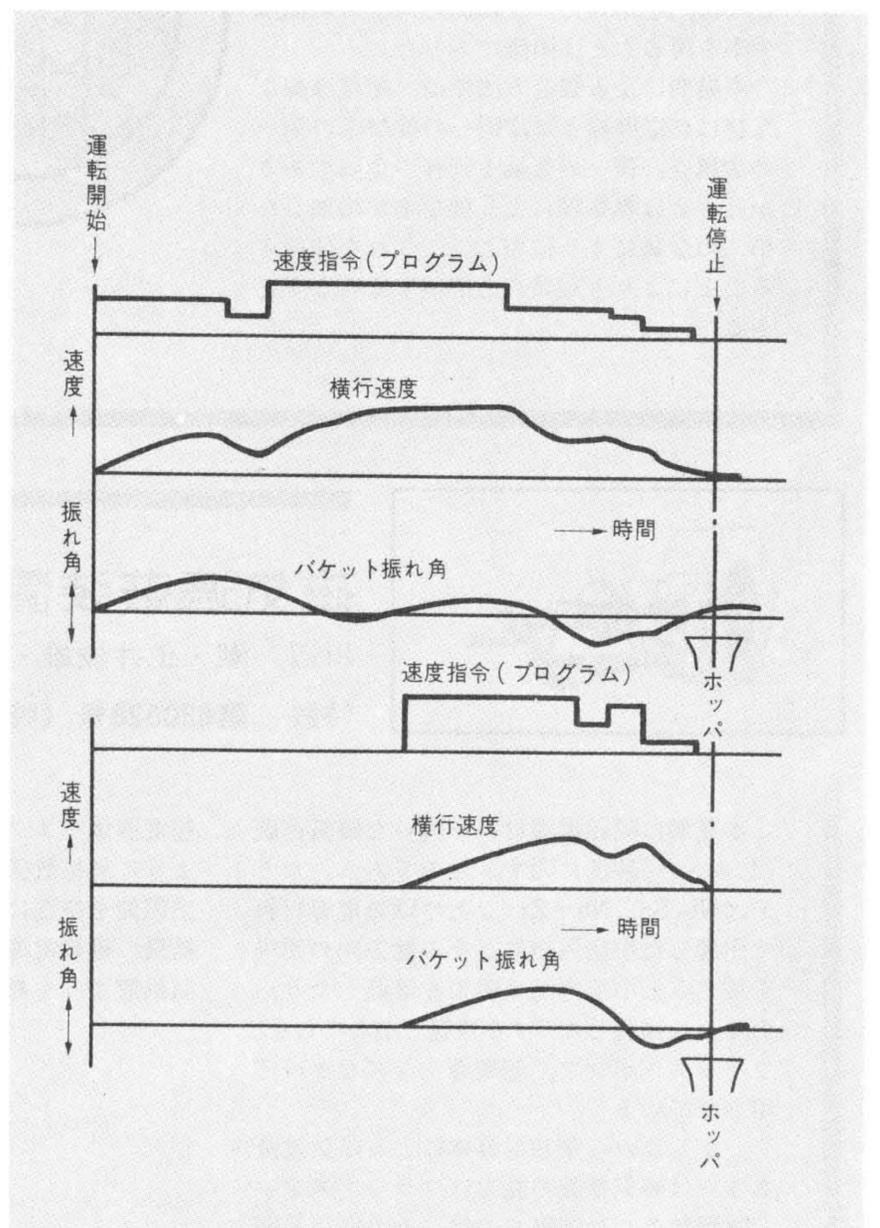


図 6 プログラム方式振れ止め制御オシログラム 実機に装備し運転した実際の結果を述べたものである。

Fig. 6 Oscillogram of Anti-Swing Control

参考文献

- (1) 川崎寛司：クレーンにおけるつり荷の振れどめ制御について 日本機械学会誌 72, 605 (昭44-6)
- (2) 正田英介：最適制御理論 (昭47-4) コロナ社
- (3) 市川, 山本：OHM (昭46-7)(クレーンの自動化とは何か)
- (4) 昭和44年電気学会東京支部大会 (アンローダの自動運転振れ止め装置) 渡辺, 藪, 山本