ポンプ浚渫船の浚渫制御に関する研究 (第1報)

—浚渫支援装置の開発研究—

正員 廣 川 紀 夫* 藤 井 俊 行**

Study on dredge control of Cutter Suction Dredger (1st Report)

—Development of Dredging Assist System—

by Norio Hirokawa, *Member* Toshiyuki Fujii

Summary

As the first step of dredge-automation program to increase productivity, a dredging assist system for cutter suction dredger was developed.

Major items, such as production, cutter load, swing speed, pump vacuum are shown on a CRT-display in numerical values and by trend curves. These items can be selected as required. If any value exceeds the preset limit, system will check the related data to indicate a guidance or an alarm for proper operation.

The system indicates on the CRT-display the cutter position with respect to the planned dredging section.

The prototype system has been installed aboard a dredger for testing.

1. ま え が き

ポンプ浚渫船はカッタサクションドレッジャ (Cutter Suction Dredger) と呼ばれ、浚渫能力が大きく、さらに浚渫と同時に埋め立てが出来るので浚渫船の主力として広く用いられている。

特にわが国では臨海工業用地の造成や、農地の灌漑など戦後の国土復興に大きな役割を果たした。このため浚渫船、即ち埋立船という認識で扱われることがあるが本来の浚渫工事は航路の啓開・拡幅増進や港湾の拡張・維持、河川や運河の維持管理などの目的により水底を計画にしたがってさらえることである。

ポンプ浚渫船の施工能率向上に関しては従来から多くの研究がなされてきた¹⁾²⁾。浚渫能率向上の研究は大別して時間当たり揚土量を向上させるための研究と、施工精度を上げて余掘りと呼ばれる無駄な浚渫を極限して作業時間とエ

ネルギのロスを減少させようとする研究に分類される。本研究では施工精度管理による能率向上についての検討を行った。

本研究の第1報ではポンプ浚渫船に搭載する浚渫運転支援装置について述べる。この運転支援装置は、通常、目視確認出来ない水底の浚渫断面を表示し、計画浚渫線と対比出来るように掘削中のカッタ位置をリアルタイム表示する。さらに浚渫機器の負荷率や土砂スラリの含泥率や流量を参考表示し、運転状態を判定して必要ならば適正運転のためのガイダンスを表示するものである。

なお、第2報では上記研究に基づいて開発した浚渫自動化システムについて報告する予定である。

2. 研究の背景

浚渫工事の契約では、一般に海図その他の水路図誌上で指定された区域を基準水面から指定された深度まで水平に浚渫することが求められる。

従って施工精度が不十分であれば完工検査の結果、やり直しによって多大の損失を生じることになる。このような状況を回避するために施工精度の悪さをカバーするように深め、広めに浚渫しなければならない。これを余掘りと言う。この契約外の浚渫を低減するために施工精度管理は重

* 三菱重工業(株)エレクトロニクス事業部 (開発・製造部)

** 三菱重工業(株)広島研究所 (鉄構・土木研究室)

要である。

以上のような観点から浚渫時にオンラインリアルタイムで掘削断面形状を計画線と対比して表示し適正運転のためのガイダンスを行う浚渫運転支援装置の開発を行った³⁾。

3. ポンプ浚渫船の概略機構

ポンプ浚渫船の運転要領およびその問題点を説明するに先立ってその概略機構を述べる。

ポンプ浚渫船の外観を Fig. 1 に示す。ポンプ浚渫船は基本的に非自航箱型バージであり、その前端にラダーと呼ばれる鋼製桁状構造物が、水平に設置されたピンにより結合されている。このピンをトラニオンと呼ぶ。

箱型バージのほぼ中央底部に浚渫ポンプが設置されており、バージの後端にはスパッドと呼ばれる鋼製の杭が2本設置されている。

ラダーの先端にはカッタが設置され、その直後にサクシオンマウスが開閉しておりカッタで切り崩した水底の土砂をスラリとして吸い込み、浚渫ポンプで排砂管を経由して埋立地に排送する。

浚渫するときは2本のスパッドのうち1本を主スパッドとしてこれを自重で水底に打ち込み、ラダーを所定深度まで下ろしてバージと一体としてスパッドを中心に左右に角移動させ扇状に浚渫する。これをスイングと言う。

ラダーを上げ下ろしするためにバージ前方上部にラダーガントリーまたはラダーシアと呼ばれる鋼製骨組構造が組まれこの先端のラダーシーブを経由してラダーウィンチから繰り出され鋼索がラダーを吊り下げている。

ラダー先端両側にもシーブが設けられ、ウィンチから導かれたスイングワイヤがここから浚渫船の左右前方に打ち込まれた錨に繋がれている。

Fig. 1 Cutter Suction Dredger

Fig. 2 Profile of Cutter Suction Dredger

Fig. 3 Swing method of Cutter Suction Dredger

ポンプを運転しカッタを回転させた状態で左右にスイングさせて、その位置のその深さの掘削が終わるとラダーを下げてスイングを繰り返し所定深度まで浚渫を行う。

そのスパッド位置で所定の深度まで浚渫すると所定量前進して浚渫を続行する。

上記各機器の配置とスイング要領を Fig. 2, Fig. 3 に示す。

4. 運転要領

ポンプ浚渫船の運転は操作盤上の多数の計器を監視することにより目視確認出来ない水底の状態を推測し、時間当たり浚渫土量をできるだけ上げた状態で連続運転を持続し時間的、空間的ロスを極力低減させるように運転する。以下に基本的運転要領と、早急に検出して対処すべき異常現象について述べる。

4.1 浚渫計画

浚渫施工計画に当たっては浚渫船の移動を少なくとも能率を上げるように区割りとし施工順序を設定する。

浚渫幅はスイング角度に依存する。スイング幅が過大であればスイング操作に無理を生じ、過小であればスパッド打ち換え回数が増えて不経済となる。

浚渫土厚は一般にカッタ径を標準として、底質によって

0.5～2.0 倍の範囲で、前進量やスイング速度を勘案して決定される。

浚渫時にサクシオンマウスから吸入される土砂スラリーに含まれる土粒子の比率を表す含泥率が低いと能率が落ちるが、あまり高濃度で浚渫すると排砂管閉塞を起こし、大きなトラブルとなる可能性がある。

ウィンチとポンプの力量の上限をふまえて、適正な含泥率を維持するように掘厚、前進量、スイング速度のバランスをとることが肝要である。

4.2 異常状態

浚渫中に起こり得る異常状態には以下のような事象がある。このような事態を各種指標からの確に判断し、必要な処置を講じる必要がある。

(1) 障害物吸入

岩石や沈木など水底の障害物を吸入することがある。障害物を吸い込むと除去のためポンプを停止するので、稼働率低下を来す。

(2) カッタ転動

カッタが底質を掘削せず、表面をトルクで回転して歩くことを言う。ワイヤが緩むとこの上をカッタが転がりワイヤを傷つけ切断することもある。

(3) 排砂管閉塞

浚渫土粒子の粒度に対応した限界流速を下回ると排砂管の下部に沈澱をし始め、放置すれば排砂管閉塞に至る。

(4) 排砂管破裂

排砂管継ぎ手の材質が劣化していたり、締め付けが不十分であるとそこから破断する。

(5) 空振り (空掘り)

ポンプ浚渫船の運転は計器に依存した盲目運転となる。水底地形は平坦とは限らない。カッタが土砂のない箇所に来るとカッタ負荷も吸入負圧も低下し空振りとなる。

(6) 走錨

走錨とはスイングワイヤの先端を水底に止めている錨の爪が外れて地表を滑って移動する現象である。

走錨が起きるとポンプ浚渫船の運転は困難となる。

(7) その他

上記のほか、各種ワイヤ切断、波浪や時化による浚渫不能、カッタチップ切損やポンプ破損、航行船舶による障害などが起こり得る。

4.3 運転監視指標

運動中に注視すべき計器指示項目は多いが、主要な指標を以下に列記する。

(1) 流速

排砂管の抵抗は距離に比例するので距離が短い場合には流速が速くなる。これに見合う土砂を吸入するために掘厚を厚くスイング速度を上げるなどの対処が必要になる。適正含泥率は流速によって変化する。

(2) 含泥率

浚渫で用いられる含泥率とは、一般に見かけ容積含泥率である。従って、通常のスラリー輸送という真容積濃度とは異なった値となる。

$$\text{真容積濃度} = (\gamma_m - \gamma_w) / (\gamma_s - \gamma_w)$$

$$\text{含泥率} = (\gamma_m - \gamma_w) / (\gamma_a - \gamma_w)$$

ここに γ_m : 管内スラリーの平均比重量

γ_a : 海底土砂の見かけ比重量

γ_s : 土粒子の真比重量

γ_w : 清水の比重量

(3) ポンプ動力

ポンプの揚水量と揚程、馬力、流速、効率などの関係を表す性能曲線から運転状態を知ることが出来る。

(4) 浚渫ポンプの吸入負圧

浚渫ポンプの全揚程は吸入揚程と吐出揚程よりなる。吸入揚程は負圧であり、吸入実揚程・吸入管抵抗・土砂懸垂揚程の3要素に区分される。

吸入揚程の中、吸入実揚程は非常に小さく吸入管抵抗は変動がすくないので土砂を水底から吸い上げる土砂懸垂揚程が主な変動要因である。これは吸入スラリーと海水の比重差によるもので、前進量や掘厚が大きくスイング速度が大きければサクシオンマウスに供給される土砂の量が多くなり結果として土砂懸垂揚程が高くなる。これが過大になると吸入負圧が限界に到達し吸入不能となる。

(5) カッタ回転数

カッタ回転数はスイング速度に応じて適正なピッチで底質を刻むように調整出来ることが望ましいが、2段変速程度のものも多い。底質およびスイング速度により適正回転数がある。

(6) カッタ負荷・スイング負荷

ポンプ浚渫船で浚渫能力が限界に到達する場合、スイング張力の限界かカッタの切削能力の限界かポンプの吸入能力の限界の何れが制約条件になっているかを判断する必要がある。

(7) ジャイロコンパス

ジャイロコンパスは海図上の浚渫船の位置決めのほか浚渫計画中心線、スイング寄切角、スパッド打ち換え時の角変位シフトなどスイングウィンチを扱う全ての操作の基準になる。

北を零度とする真方位と、浚渫計画中心線などある方位からの偏角を取り扱う相対方位の両方が用いられる。

(8) 潮位

基本水準面から測ったその時点の海面変動量である。潮位変動は月と太陽の引力による潮汐に気圧・風向・潮流による変動が重畳される。

5. 浚渫運転支援装置の開発

従来の通常のポンプ浚渫船を対象に、運転者の経験や技量の差を少なくし、経験の少ない人でも運転出来ることを

目標に経験的、感覚的に把握されてきたポンプ浚渫船の運転状態を数量的に評価して運転の支援を行う浚渫運転支援装置の開発を行った。極力、通常のポンプ浚渫船に装備されている制御機器や検出器を活用する。また、後日機器や検出器を新設あるいは換装したときも内部設定データの変更程度で対応可能とする。

なお、第一段階として浚渫自動化装置ではなく、浚渫運転支援装置として開発した理由は以下の3点である。

- ① 実稼働条件下では例外事項が発生した場合、自動化システムで運転者が手動モードに切り替えて対処しては稼働率が低下する。
- ② 運転系統に追加システムを組み込むことにより全体系としての信頼性低下を来す恐れがある。
- ③ 自動化する場合、その前段として運転状態データを取得して解析することが必要である。

5.1 浚渫運転支援装置の機能

浚渫運転支援装置の各種機能を以下に示す。

(1) 浚渫断面表示機能

浚渫中の海底断面をリアルタイムグラフィック表示する。現在の海面、基準水面、計画浚渫断面、カッタ位置、カッタ軌跡、最深カッタパスを同一画面に表示し、日時、浚渫方位、ジャイロ角、カッタ位置など各変動量を数値表示する。

掘跡計測装置からの信号を入力出来ればオプションでこの画面に掘跡を重ねて表示することもできる。

Fig. 4 に浚渫断面表示例を示す。

(2) 浚渫運転状況監視機能

浚渫ポンプ、スイングウィンチ、カッタなど機器の負荷率をヒストグラムと数値で表示する。設定した許容限界値に到達すると、その項目の表示色を変えて運転者に注意を喚起する。

この画面はファンクションキーで浚渫断面表示画面と切り替えて表示するがオプションでCRTグラフィック表示装置を増設した場合は常時並行表示することも可能である。

Fig. 4 Display of Dredging Section

Fig. 5 に浚渫運転状況監視表示例を示す。

(3) 警報・ガイダンス機能

吸入負圧や管内流速などプロセス値が適正範囲にあるかをチェックし、機器の負荷率や回転数などに余裕があればスイング速度やカッタ回転数を操作するガイダンスを出力し、限界であれば例えば掘厚を調整するようにメッセージを表示する。

ポンプの回転数と負荷の関係が異常な場合は排砂管系に

支障が生じていないか調べるような警告を出力することも出来る。

(4) カッタ・スイング負荷変動表示機能

浚渫断面において局部的にカッタ負荷・スイング負荷が変動することがある。このような変動が特定な位置で発生する場合は地形や地質に局所的な変化がある可能性がある。機器の負荷を掘削位置に対応して表示しておけば折り返してその位置に来たときにスイング速度を加減すること

Fig. 5 Display of Dredging Status

< DAILY DREDGING REPORT >				15-JUN-82	19:48:54---	20:25:36
SITE	A POINT				WEATHER	FINE
DELIVERY	2000 M				WIND	0 M/SEC
DIRECTION	137.2				CURRENT	0.0 RNOT
DREDGE WIDTH	94.5 M				WAVE HIGHT	0.0 M
					SOIL	SAND WITH GRAVEL
*** RESULT ***				PORT	STBD	TOTAL
SYSTEM	RUNNING TIME			00:16:42	00:17:21	00:36:30
PUMPS	RUNNING TIME			00:16:39	00:17:15	00:36:21
CUTTER	RUNNING TIME			00:16:42	00:17:21	00:36:30
SWING	TIME			00:16:42	00:17:21	00:36:30
DREDGING VOLUME				606.9	452.8	1094.7 M3
D.VOLUME / SWING	TIME			2180.5	1565.8	1799.4 M3/HOUR
D.VOLUME / CUTTER	R.TIME			2180.5	1565.8	1799.4 M3/HOUR
D.VOLUME / PUMPS	R.TIME			2187.1	1574.8	1806.9 M3/HOUR
SWING	SPEED			11.1	13.7	12.4 M/MIN.
SWING	MOTOR ELEC. POWER			106.1	118.1	112.3 KW
CUTTER	MOTOR ELEC. POWER			431.3	442.5	436.8 KW
DREDGE PUMPS	SUCT. PRES.			0.3	0.4	0.3 KG/CM*2
DREDGE PUMPS	ELEC. POWER			3796.3	3759.1	3781.3 KW
DISCH. PIPE	PRES.			1.4	1.7	2.2 KG/CM*2
DISCH. PIPE	VELOCITY			6.2	5.7	6.0 M/SEC.
DISCH. PIPE	CONCENT.			20.8	14.8	17.1 %

Fig. 6 Print-out Example of Daily Report

が出来る。既浚渫箇所隣接する部分を浚渫するときもこれで側端を知ることが出来る。

本システムではジャイロ角に対応してリアルタイムにヒストグラムを表示して、その幅と色でカットとスイングの負荷率を表示させることを試みた (Fig. 5 参照)。

(5) 稼働実績積算・日報機能

本システムでは稼働実績作表機能をもたせた。基本的には作業日報に相当するものであるが、実稼働実績を統計的に解析して能率向上の参考に出来るように左右スイング別にデータを積算し、運転時間、浚渫時間、平均管内流速、平均含泥率、揚土量、機器の平均負荷と回転数などを印字する。予め設定された時刻に自動的にプリントするが、任意時刻にファンクションキーによる積算印字も可能とする。

稼働実績積算の印字例を Fig. 6 に示す。

(6) 入力データの連続収録機能

前項の日報機能は一定時間の積算データでありプロセスデータの変動状況や機器の負荷変動など、通常の日報に必要なデータの経時変化は含まれていない。従って個別データが必要な場合に備えてシステムに入力されるデータを磁気テープに連続収録する機能を追加した。

ファンクションキーでデータ収録を選択して、開始時刻と収録データ量を指示する。

(7) 追加機能

本システムは計算機入力インターフェースを備えた外部測定機器の信号を入力することが可能である。

試作システムの実船試験では船位測定装置や掘跡計測装

置を接続して計測を行った。

(8) バッチ処理機能

バッチ処理の例としてはテープから再生したデータの統計解析 (相関解析・頻度解析)、掘跡の任意断面作画、等深線作画などがある。

Fig. 7 にプロッタ出力例を示す。

5.2 運転支援装置の入力データ

本装置の作動に必要なアナログ入力信号は、連続浚渫を監視するプロセス状態変数と、機器の運転状態変数と、カット位置算定に用いる船位形状変数に大別される。

プロセス状態変数には吸入負圧、吐出圧、流量、含泥率など、運転状態変数には浚渫ポンプの回転数と動力、カットモータの回転数と動力、両舷のスイングウィンチの回転数と動力など、船位形状変数には船位初期位置、ジャイロコンパス指数、ラダー深度、などがある。

なお、本システムに対する浚渫船固有の基本的設定データ項目の一部を Table 1 に示す。

5.3 システム構成

本システムは施工現場で専従のオペレータなしで運用されるので試作システムのハードウェア/ソフトウェアについては信頼性が高く現場実績の豊富なシステムであること、支障を生じた場合にもサポートネットワークが利用できることを考慮して DEC 社 (Digital Equipment Corporation) のミニコンピュータ PDP 11 を採用した。

(1) ハードウェア構成

システム設計は基本的にモジュール構成とした。ハード

Fig. 7 Plotter Output example

Table 1 Example of Principal Data

番号	項 目
1	ポンプ回転数校正係数
2	ポンプ電流校正係数
3	カッタモータ回転数校正係数
4	カッタモータ電流校正係数
5	スイングウィンチ回転数校正係数
6	スイングウィンチ電流校正係数
7	ラダー上検出点水深の校正係数
8	喫水検出値の校正係数
9	ヒール校正係数
10	トリム校正係数
11	吸入負圧校正係数
12	吐出圧校正係数
13	流量校正係数
14	スラリ密度校正係数
15	ラダー深度校正係数
16	管断面積
17	ジャイロ信号変換係数
18	カッタヘッド半径
19	検出器取付点の喫水
20	喫水検出点・トラニオン間距離
21	カッタ先端・トラニオン間距離
22	トラニオン・水深検出点間距離
23	スパッド・ミドシップ間水平距離（縦・横）
.	
.	

ディスクベースのパーソルコンピュータでも、ある程度現場の環境で使える「FA パソコン」と呼ばれるものが実用化されており、本システムもパーソナルコンピュータで実現出来る見通しを立てたが現場でディスクの信頼性に一抹の不安が残ったので試作システムはテープバックアップのミニコンピュータとした。

パーソナルコンピュータでは、それ自身のグラフィック表示機能が利用出来るのでむしろパフォーマンスは向上する。

要求されるシステム機能は発注者、施工企業、現場の事情などによって必要性、重要性などが異なる。このためシステム機能も基本機能、オプション機能に分け、モジュール化指向とした。

実船の搭載機器は種類が多く、後日搭載されたり換装される場合もあるが、モジュール化と入出力の標準化によって対応可能とした。

Table 2 にシステムの機能一覧表を示す。入出力データは、基本機能と標準の入出力データを準備しておき、各種搭載機器の個別データとインターフェースする方式を採用した。これによりオーダーメイドシステムに較べてコストダウンと信頼性の向上をはかることが出来た。

（2）ソフトウェア構成

アプリケーションソフトウェアは基本的にフォアグラ

Table 2 System Functions

区 別	機 能	必要追設機器
標 準	浚渫運転状況表示	
標 準	警報およびガイダンス表示	
標 準	カッタ負荷・スイング負荷表示	
切 換	浚渫断面表示(追加・変更可)	
オプション	連続データ収録・再生	磁気テープ装置
オプション	稼働実績日報印字	プリンタ
オプション	船位表示	船位測定装置
オプション	掘跡測定表示	掘跡測定装置
オプション	浚渫断面・平面作図	プロッタ

ド/バックグラウンド処理とする。即ち、一定時間間隔で検出データをサンプリングするデータ入力部をフォアグラウンドジョブとし、その他の処理をバックグラウンドジョブとして構成した。アプリケーションソフトウェアの処理の流れを Fig. 8 に示す。

フォアグラウンドジョブはデータ入力部からのデータをコモンエリアに読み込み、稼働実績その他の積算、データ収録を行い、設定されたサンプリング間隔から自分自身の次の起動時刻を設定した後、休眠する。フォアグラウンドジョブの処理のフローを Fig. 9 に示す。

（3）主要データ処理

浚渫船に搭載される機器や検出器・制御装置などは入出力信号の種類・レベルなどが多種多様のため、本システムでは状態監視・制御に用いる信号を基本的に標準化することとした。状態値の表示や判定など、工学単位が必要などころではその前段階でテーブルから読み取った校正値を乗じている。

5.4 処理内容

（1）運転ガイダンス・警報

入力されたデータからスイング速度の上下限、ポンプ回転数の上限、カッタ負荷の上限、スイング負荷の上限、ポンプ負荷の上下限、吸入負圧の上限、吐出圧の上限、含泥率に見合う流速の上下限をチェックして、スイング速度、ポンプ増減速などのうち、調整の余地のある項目について運転のガイダンスを CRT 表示装置に出力する。

例えば、スイング負荷が上限を越えていて、スイング速度が下限速まで下がっていなければ、スイング速度の減速指示を出力し、下限速であれば負荷軽減のため掘厚を薄くするためにラダー巻き上げを指示する。

このとき、調整の余地がなかったり、これらの指標が異常な相互関係を生じた場合は異常を示す警報を出力する。

Fig. 8 Genaral Flow Chart

(2) カット軌跡と最深パス

本システムでは浚渫中、サイクル毎に主スパッド位置、喫水、船体傾斜、ジャイロ角、ラダー角からカット位置をCRT画面上にプロットし、1スパッド間のカット軌跡を表示する。

浚渫船(の最終)カット軌跡が、必ずしも掘跡を表現しているとは限らない。

このため浚渫全幅にわたって充分細かい間隔で分割してメモリ上にこの分割数に相当する大きさの配列を用意し、演算間隔毎にカット位置の水平成分に該当する要素にカット深度を記録する。

サンプリング毎にデータの比較を行い既に記録されているデータより深いときにのみ更新すると配列に記録されて

いるデータはその時点における最深データとなる。

この配列のデータはそのスパッド位置の浚渫が終了したときにリセットする。

(3) 画像モジュール

運転支援装置は運用者によって期待する機能の優先順序が変わったり、独自の機能を持たせたりすることが予想される。

従って、ヒストグラム・トレンド・2次元グラフなどを汎用的に用意した。これにより稼働現場での実船実験において比較的短時間でCRT画面の部分変更を行うことが出来た。

(4) 換算データテーブル

本システムは国内向けのほか輸出にも対応する必要があ

Fig. 9 Flow Chart of Fore-Ground Job

る。このため、内部処理ルーチンでは MKS 単位を用いているが、CRT やプリンタ出力用に他系統の単位を用いる場合もあるので入出力データはメモリ上に設置した単位換算テーブルで数値データの換算を行っている。

(5) 設定値テーブル

スイング速度の上下限値や含泥率の上下限、スイングウィッチやカッタの負荷の上下限値などは稼働地の試掘結果、これら運転指標を設定して本運転を行う場合もあるので容易に変更出来るようにメモリ上に一括して設定値テーブルを設け、この設定値により上記(2)項の運転ガイダンスや警報判定に用いている。

(6) 連続データ収録

本システムは標準機能として毎日定刻に積算揚土量や平

均含泥率などを含む日報出力機能を持たせているが、さらに浚渫効率や施工精度を向上させるために詳細にデータを解析することを考慮してオンラインでシステムに入力されるデータを磁気テープに連続記録する機能を持たせている。この機能はオプションであり、記録開始時刻と連続収録時間を設定するが、最大連続収録時間は媒体の容量で決まる。

(7) バッチ処理

バッチ処理のプログラムはオンライン系と独立に構成されており、運転支援装置が本来の浚渫運転支援、監視などの処理を行っていない時に実行することも出来るが、定常的に処理する必要があるれば専用のハードウェアで実行することが望ましい。

バッチ処理プログラムの内容、収録データの経時変化のトレンド作図、連続収録データの相関解析、指定された位置の浚渫断面作図、等深線作図などがある。相関解析を行う場合、測定点位置の相違による時間遅れを調整する必要がある。

5.5 オプション

本システムにはいくつかのハードウェアオプションを用意した。

第一のオプションは CRT 画像表示装置である。標準仕様ではスペースを取り視野を妨げる CRT 表示装置を 1 台として、複数の画面を切り替えて表示するように計画された。しかし、運転室に設置するスペースがあれば増設 CRT を追加して常時 2 画面を表示することが可能である。

第 2 のオプションはプリンタである。プリンタは日報出力に必要で機能的には標準装備としたいが、印字用紙とかインクなど消耗品が必要なので現状ではオプション扱いとした。今後普通紙ファックスが普及し、消耗品の補充に支障がなくなればページプリンタを標準装備としたい。

第 3 のオプションは磁気テープユニットである。この装置は連続データ収録を行う際に必要となる。この場合、陸上施設に磁気テープユニットを接続した解析用計算機があれば現地の浚渫船からテープを回収して効率的に解析することが出来る。解析結果を出力するためにプロッタかハードコピー装置の設置が望ましい。

第 4 のオプションはプロッタである。これは浚渫船に搭載された運転支援装置で収録データの解析結果のグラフなどを出力する場合に必要な。ただし、稼働中の浚渫船では振動・動揺・衝撃は不可避であり、本来陸上施設に設置すべきであろう。

以上のほかにパラレル・シリアルポートに予備があるのでその他の外部機器とのインターフェースも可能である。

5.6 技術的特徴

本システムの技術的特徴をまとめるとつぎのようになる。

(1) 既存船搭載接続の容易性

既存の浚渫船に比較的容易に接続が可能である。本体とCRT画像表示装置、ファンクションスイッチとのインターフェースはシリアル方式であり、相互の配置には比較的自由度がある。

基本設定データやプロセス状態変数・運転状態変数・船位形状変数、警報・ガイダンスに用いる設定値などデータも調整可能である。

(2) 可用性

可用性とはavailabilityのことである。本システムを接続することにより制御系統の故障率に影響を与えることのないように従来の系統と並列に接続する。また、状態の異常を検出しても本システムから直接操作信号を出力させず、全て運転者に対する警報またはガイダンスを出力するに止めている。

これにより、万一運転支援装置が停止したり誤作動した場合にも本船に及ぼす影響を最小限に止め得る。

(3) カスタマイズ

浚渫船の運転は熟練運転者の経験により運用されてきた。従って、浚渫企業毎にノウハウが蓄積され、手引きやマニュアルで伝承されている。また、本装置採用の狙いも必ずしも同じとは限らない。

従って、警報やガイダンスの項目や判定基準、CRT画像表示装置の表示内容や形式などに追加や調整の希望もあろうし、運転実績を重ねてこれらに変更を生じることも考えられる。

本システムのアプリケーションソフトウェアはモジュール構成をとっており、このような場合のカスタマイズに対応可能である。

6. 浚渫運転支援装置の試作・実験

6.1 装置の試作

浚渫運転支援装置の試作にあたって考慮した事項は幾つかある。第1に稼働環境から耐環境性を重視した。浚渫船は運転中、振動と衝撃にさらされることがある。このため試作システムの筐体は舶用品に準ずる構造とした。

システム媒体として、一般にはフレキシブルディスク装置が用いられているが磁気ヘッドが読み書きしている時に大きな衝撃をうけると損傷する可能性があり、試作システムでは予備のシステム媒体として往復読み書き可能な磁気テープユニットを装備した。

第2にはスペースの問題である。新造のポンプ浚渫船であればコンソール設計の段階で外界視野を妨げない場所にCRT画像表示装置を設置することも操作盤に幾つかのスイッチを埋め込むことも可能であるが一時的実船試験では何れも容易ではない。従ってCRT画像表示装置は1台としシステム調整に必要なフルキーボードは表示装置の台の中に収納し機能操作に必要なファンクションキーは照光式押釦を8個並べた小型スイッチボックスを接続し運転席の

近くに導くことにした。

第3にデータ収録の問題がある。システムの機能確認は重要な試験項目であるが実稼働試験では特定の条件で現象を再現することは困難である。従って絶縁直流増幅器の後に14チャンネルアナログデータレコーダに同時収録した。

試作システムの仕様をTable 3にハードウェアの外観をFig. 10に示す。

6.2 実稼働実験

(1) 実験準備

実稼働実験は三菱重工業(株)と五洋建設(株)の共同研究として実施された。供試船には五洋建設(株)のポンプ浚渫船「駿河」が指定され、試験海面は苫小牧東港、試験時期は昭和57年7～8月とされた。Fig. 11に供試船「駿河」の外観を、Table 4に同船の主要目を示す⁴⁾。

Table 5に、このときのアナログ入力信号一覧を示しFig. 12に計測ブロックダイアグラムを示す。

Table 3 Outline Specification of Prototype System

項 目	概 略 機 能
プロセッサ	16ビット高性能マイクロプロセッサ (LSI-11) メモリマネージメントユニット、高速演算チップ付き
メモリ	ダイナミックMOSRAM 64KW (128KB)
システムデバイス	磁気テープユニット (256KB×2) 双方向読み書き可能 (平均アクセス時間: 9.3秒) 8インチフロッピーディスクユニット (512KB×2)
グラフィック端末	20インチカラーCRT (フルキーボード付き) 14インチカラーCRT (同上)
プリンタ	ドットインパクトタイプ (80桁/行)
X-Yプロッタ	フラットベッド型 (A3サイズ、10ペン選択可)
ファンクションキー	照光式 (8キー・モニタリ/ラッチ)
アナログ信号入力	30チャンネル (差動型) A/D変換器 精度: 符号+11ビット
デジタル信号入力	16点 (無電圧)

Fig. 10 Hardware of Prototype System

Fig. 11 Cutter Suction Dredger "SURUGA"

Table 4 Principal particulars of "SURUGA"⁴⁾

項 目	摘 要
満載排水トン数	5850 t
船体主要寸法	長さ 80.0 m 幅 19.4 m 深さ 6.1 m 平均喫水 3.32 m (軽荷) 4.07 m (満載)
動力種類	ディーゼルエレクトリック
主機馬力	8000 PS×2
浚渫ポンプ駆動用動力	8000 PS×1
カッタ駆動用動力	1000 PS×2
排砂管径	0.86 m
公称浚渫能力	1000 m ³ /h
公称排送距離	5700 m
最大浚渫深度	32.0 m
最小浚渫深度	5.7 m
建 造 年	1972年
建 造 所	石川島造船化工機

Table 5 Analog data at Field Test

番号	項 目
1	浚渫ポンプモータ電流
2	カッタモータ電流
3	スイングモータ回転数
4	スイングモータ電流
5	ラダー中間深度
6	喫水
7	ヒール (船体左右傾斜)
8	トリム (船体前後傾斜)
9	吸入負圧
10	吐出圧
11	管内流速
12	スラリ密度

本システムの試験用に供試船に特設された主な測定装置はつぎの通りである。

① 電波式船位測定装置「オーディスタ」(島田理化製)

地上の2点に設置した従局と浮体上の主局の間にマイクロウェーブ電波をとばして変調発信波と変調返信波との位相差を検出して距離を求める装置である。この装置では1.5 MHz～1.5 kHzのマイクロウェーブを使用した。

測定レンジは100 kmと20 kmが選択出来、距離分解能は0.1 m、測定誤差±1.0 mである。

② ラダー深度計「ELC カウンタ」(三成電気製)

ラダーウィンチのドラム回転パルスを計数積算し、これから内蔵されたラダー深度テーブルを読み取る方式である。

この実験では参考データとし、運転支援装置のカッタ深度算出にはラダー上に特設した差圧伝送器から求めた深度を用いている。

③ 掘跡計「エコーサウンダ」(沖電気製)

ラダーの下面から下方に超音波を発信して水底からの反射波を検出して、往復に要する時間から水深を求めるものである。

あまり水底に近いと原理上測定が難しくなるので検出部はラダー基部に近いところに設置された。このため、掘跡を検出した位置はカッターより手前でありスイングしたときの半径が短いので、寄り切り近くの両側は測深対象範囲には含まれない。

④ ジャイロコンパス方位変換器「S/D 形シンバータ」(日本電気精器製)

S/D 形シンバータとはシンクロ対デジタル変換器の意味で、ジャイロコンパスの回転角情報を表す交流電圧を2進のデジタル量に変換するA/D変換器の一種である。

試作システムに実装したパラレル入力信号ビットの制約から、これらのデジタル信号を同時に入力出来ないので五洋建設(株)側でこの検出信号をバッファリングして識別符号をつけて16ビットパラレルポートに順次送信する「エキスパンションインターフェース」を作成した。Fig. 13にエキスパンションインターフェースの概要を示す。

(2) 実験状況

試作システムは現地に陸送し稼働準備中の供試船に積み込んで本船機器の信号や特設計測装置との接続と調整を行った。五洋建設(株)でも実稼働試験の機会に各種計測機器を積み込んで評価試験を実施された。

現地は北海道苫小牧東港で水深は十数 m、底質は小石混じりの粘土で排送距離は約1700 m、気象は曇または霧であった。

運転室だけでは運転支援装置や各種測定器、記録機器を収容出来ず本船の好意でサロンを計測室にあてることが出来た。CRT画像表示装置は事前の打ち合わせにより、20インチと14インチの2台を用意したが、大型CRTを運転室に設置する余地がないので運転席前外面側に鋼製箱を仮設して実験を実施した。

Fig. 12 Block Diagram for Measurement

Fig. 13 Expansoin Interface

また、五洋建設(株)の提案で運転室に暗幕を張り、運転支援装置による計器運転を実験することが出来た。

信号接続後、基礎データの取得や設定値の調整と並行して順次個別機能のチェックの後、数日にわたって条件を変えて実験を行った。

この間、五洋建設(株)の要望や提案もあり、モニタ項目や表示形式を変更している。

6.3 試作システムの評価

(1) 供試船での検討会コメント

予定の期間で実船試験を終了した後、実験に協力して戴いた供試船舶長はじめ本船関係者、五洋建設(株)開発部門と検討会をもった。この検討会でそれぞれの立場から貴重な意見が述べられたが意見・要望の多くはつぎの様な表示装置に関するものである。

- ① 画面が小さい。
- ② 昼間は暗く、夜間はガラガラして目が疲れる。
- ③ 表示に濃淡がない。色の種類が乏しい。
- ④ 表示が従来の指示計のようにスムーズに変化しない。
- ⑤ CRT 以外の表示装置を検討して欲しい。

この内、第1および第2の事項は今回の実験では船内に設置場所がなく、正面窓の外側にCRT画像表示装置を設

置したことによるものであり、画面上に表示された数値などの文字は読み取り難かったし、手が届かないので輝度調整も出来なかったことによる。

第3点はCRT画像表示装置の機能の問題で、当時実験に用いたCRTはカラー3ビット、画面1枚のセミグラフィックであったことによる。近年半導体メモリの量産効果によって価格の低下が著しいので現在では大幅に改善されている。

第4点はラスタスキャン方式のCRT表示装置の基本的特質であり、頻繁に変動するデータのヒストグラム表示などはこの装置に適した表現とは言えない。この表示を後日トレンドグラフに置き換えて見るとヒストグラムのときほど違和感は感じなかった。トレンド方式には別の効用もある。即ち、数回のサンプリングデータを表示することにより、データの変動幅や変化速度が画面上で確認出来ることで、以降標準画面をトレンドに切り替えている。

第5点は従前からさらに適切な装置はないかと調査しているが、現在では多くの欠点があるもののCRT表示装置が主流を占めているようである。船舶よりさらに重量的にもスペース的に厳しいと思われる旅客用航空機の操縦室にも複数のCRT表示装置が採用されている。

検討会では本システムのサイクルタイムが遅いと言う発言もあったが本船の運用側からは実用に供し得るとの見解が示された。システムの目的から考えると仮にスイング速度を毎分10mとするとカッタの移動距離は3秒サイクルで0.5mであり、各検出器の検出精度からみても妥当なサンプリングであろう。

このほか、多項目にわたる有益な改善意見や提案を受けシステムに反映させることが出来た。

(2) 収録データの解析その他

約2週間の現地稼働実験を終え、試作システムを持ち帰った後、現地で収録したデータを再生して浚渫断面のプロット作画を含む各種機能の確認試験を実施した。

本システムの計画時点ではプロットによる作画はオプションとし、陸上施設に置いて現地から送られてきたテープを再生して作画することを前提としていた。

このため、試作システムには安価なペンプロットを用いていたが実データを再生作画させたところ作画に要する時間が長いこと、深度など文字を書かせると能率が悪いことなどが判明し作画用機器の見直しが必要になった。現場で再生作画することも予測されるので機器の対環境性・寸法・消耗品などを勘案してハードコピーユニットに置き換えることにした。

又、現地試験では電波式船位測定装置の評価試験も兼ねていたので、この装置の測定データに基づくカッタ位置の連続作画も行った。その結果、スイング操作による円弧軌跡を記録する途中でしばしばカッタ位置が大幅に跳び復元しないことがあった。このような装置を接続する場合は測

定データのチェックと補正処理が必要であることが判明した。

7. あ と が き

運転支援装置の試作を行い、実船試験を行って本装置実用化のための評価を行い、改良を要する点も判明した。

また、フレキシブルディスクをシステム媒体として使用できる見通しを得た。ただし、実用システムではRAMディスクを装備して起動時にアプリケーションをフレキシブルディスクからRAMに展開して置き実行中頻繁にディスクアクセスを行わないことにする。

試作システムはミニコンピュータを用いたが実用システムには最近能力拡大の著しいパーソナルコンピュータの内、FAパソコンと呼ばれる工業用パーソナルコンピュータを用いることにした。

なお、この運転支援装置の開発経験を踏まえて浚渫自動

化システムを開発することが出来た。

本開発研究の実施にあたり、五洋建設(株)技術本部、船舶機械本部、浚渫船「駿河」の関係各位、三菱重工業(株)技術本部、船舶・海洋事業本部の関係各位、ほかの方々に貴重な助言を載き、多大なご支援と協力を載いた。関係各機関、各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本作業船協会：ポンプ浚渫船の自動化に関する調査研究報告書，(社)日本作業船協会，1988年
- 2) 日本作業船協会：日本作業船要覧1991，(社)日本作業船協会，1991年
- 3) 鈴木，廣川，加藤：ポンプ浚渫船用浚渫運転監視システム，作業船，第150号(1983.11)
- 4) 日本作業船協会：現有作業船一覧(平成2年版)，(社)日本作業船協会，1990年