４．ロボット浚渫船「ｶｽﾐｻﾞｳﾙｽ」における自動化システムについて

国土交通省関東地方整備局･霞ヶ浦河川事務所・機械課長　○程原　雄二
三菱重工業（株）・船舶技術部・海洋計画Ｇ長　矢野　州芳
ｴﾑｲｰｼｰｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞｻｰﾋﾞｽ（株）制御ｼｽﾃﾑ事業部事業部長　蒲池　薫

１．はじめに

霞ヶ浦は、茨城県の南東部に位置し、湖面積２２０ｋｍ^2、流域面積2,１５６ｋｍ^{2}に及ぶ我が国第２位の面積を有する湖であり、農業・工業・上水道用水などの水源として、また、漁業やリクリェーションの場として利用されるなど、地域生活者の貴重な財産となっている。図１に霞ヶ浦の位置図を示す。

霞ヶ浦には、大小５６余りの河川が流入している。平均水深約４ｍ（最大水深約７ｍ）と非常に浅く、昭和４０年代半ば以降、流入人口の増加や社会経済活動の進展に伴い富栄養化による水質汚濁が進行し、利水や環境保全の面で様々な障害をもたらしている。

水質汚濁の要因としては流域から流れ込む汚水による外部要因と湖内に堆積している底泥から溶出する内部要因と言われている。

そこで、水質浄化の方策として底泥（富栄養化した堆積土）除去のため昭和５０年から底泥浚渫を開始し、さらなる促進をめざして平成４年度より大規模浚渫を実施しており、全体計画としては、深度３０ｃｍの表泥浚渫を行い、全底泥量（推定４,０００万ｍ３）の１／５にあたる約８００万㎥の底泥を除去することとしている。

ロボット浚渫船『カスミザウルス』は大規模浚渫の担い手として平成６年度に建造されたハイテクロボット浚渫船であり、毎年浚渫作業に従事し、稼動開始から１１年を経過し、その間、浚渫作業の実績をふまえて浚渫効率の向上，高含泥率浚渫，施工精度向上及び省力化を進めるため各種改良を加えて実施してきている。本報告は、その改良点について紹介する。

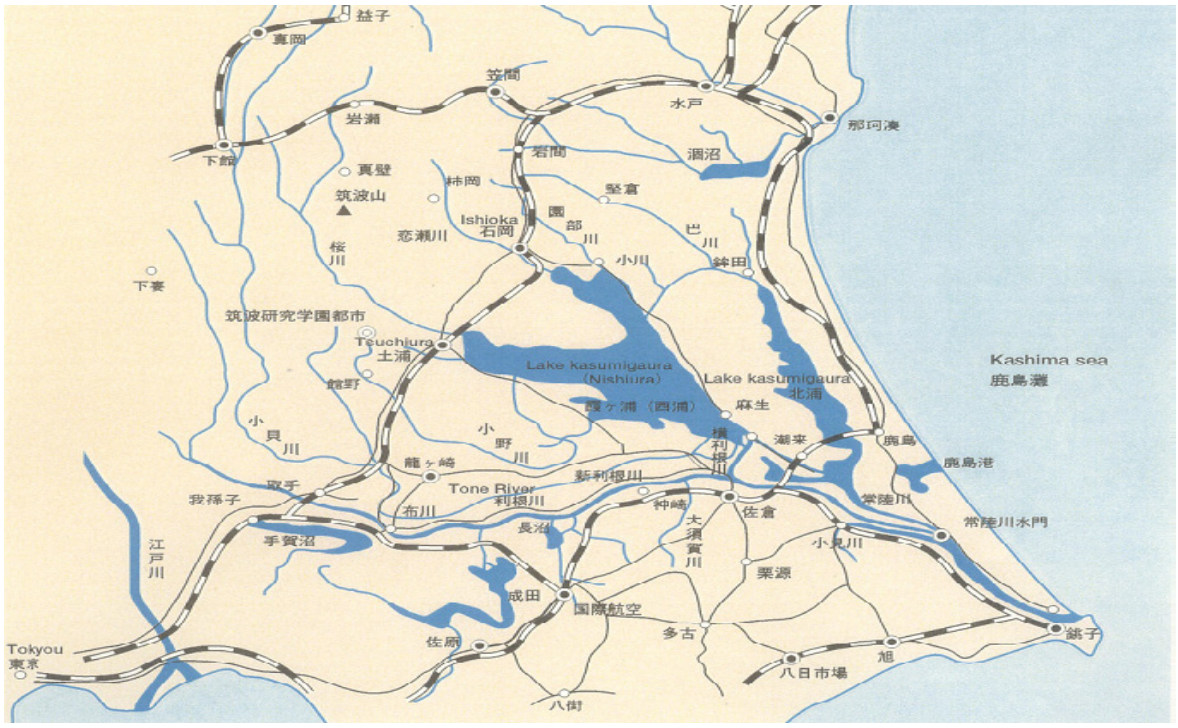

図１．霞ヶ浦の位置

２．霞ヶ浦における底泥浚渫の特殊性

水質汚濁の内部要因の底泥はリンや窒素を多く含んだ含水比２００～４００%の超軟泥である。浚渫中に底泥を拡散させることなく浚渫する必要がある。

また、浚渫土の処分方法は霞ヶ浦周辺の陸地にて天日乾燥するため高濃度浚渫が必要である。

図２に浚渫事業概要図を示す。

（1）高効率機器採用による高能力浚渫

スパットキャリッジ，集泥機旋回台等の採用に加えて自動化により安定浚渫及び連続運転が可能となり、浚渫作業における間接時間（浚渫で揚土してない時間）を削減し、稼働率・作業効率が高水準になっている。

（2）回転バケット方式の採用による高濃度浚渫及び底泥拡散防止浚渫

スライド刃の付いた回転ドラムを内蔵したバケットで底泥を取り込み、スクリューコンベアで押し上げ、吸泥ポンプで吸引する集泥機である。

スライド刃の深さが底泥深さ（３０cm）と同じになっており余水を吸い込むことなく高濃度浚渫を可能としている。また回転ドラムの速度とスイング速度を同期させる自動制御により回転ドラムが底泥を静かに切り取って行くこととなり、底泥の拡散を防止した浚渫が可能となっている。

（3）自動化による大幅な省人・ロボット化

浚渫効率向上のための自動化，省人・ロボット化のための自動化を浚渫作業全般に渡って採用したことにより、大幅な作業効率向上，施工精度向上，省人化・ロボット化；環境に優しい浚渫が実現している。

図２．浚渫事業概要図

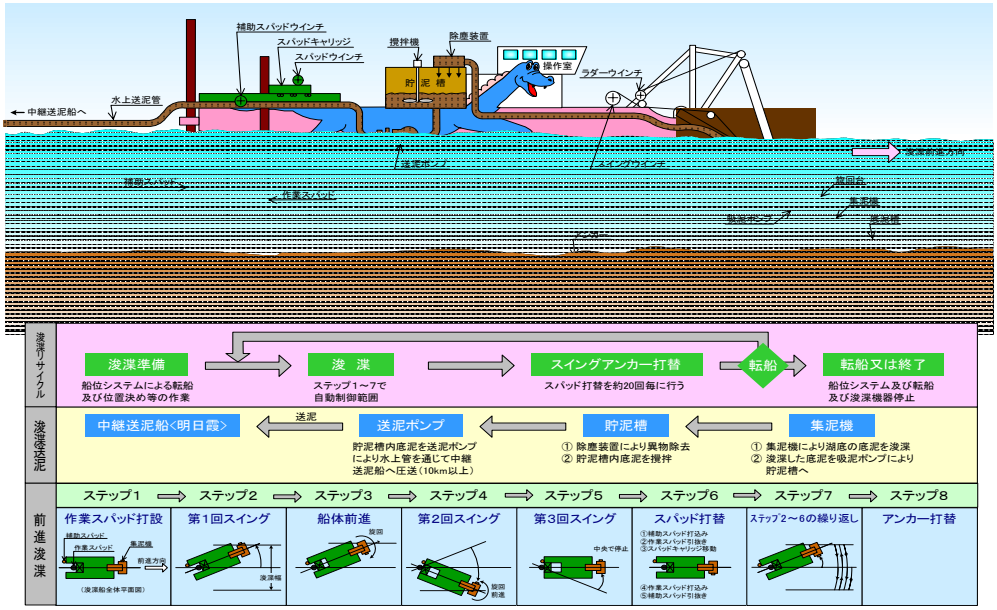

図３．浚渫方法の概要

３．浚渫自動化システムの概要

３－１　自動制御

浚渫自動制御のプログラムは、浚渫機器の機能別に独立した形で形成されている。運転操作は各機能別に自動運転と手動運転を選択し、任意の組合せで浚渫作業ができるように構築している。自動運転しながら必要に応じて運転員が手動介入して連続運転を保持し効率よい浚渫作業を行う。図３に浚渫方法の概要を示す。自動制御の各機能は以下の通りである。

（1）スイング自動制御

スイング速度設定値に従って、スイング角速度を一定に保持するように制御する。

寄切位置での減速及びスイング開始時の増速制御をする。

（2）ラダーウインチ自動制御

浚渫目標深度設定値に従って、浚渫深度を一定に保持するように制御する。

浚渫開始及び終了信号により、ラダーウインチを上げ下げ制御する。

（3）集泥機自動制御（吸泥ポンプ，回転バケット，スクリューコンベア，旋回）

回転バケット，スクリューコンベアはスイング速度と同調した制御を行う。

吸泥ポンプは回転バケットと同調した流量制御を行う。

貯泥槽のレベルが上限になった場合は、送泥ポンプ流量以下になるよう吸泥ポンプを制御する。

（4）送泥ポンプ自動制御

送泥ポンプは、貯泥槽のレベルにより自動運転を開始し、回転数保持制御する。

作業中の排送ラインの閉塞等の圧力過大時は、循環弁の開により泥水を循環させて送泥ポンプを停止させない制御を行う。

（5）前進自動制御

寄切位置でスパットキャリッジを使って設定された前進量だけ船体を前進させる制御を行う。

集泥機をスイング方向に旋回制御も行う。

（6）スパット打替自動制御

スパットキャリッジストロークエンドのスイング制御で中央に自動停止した位置でスパットの打替を行う。

３－２　運転監視

運転監視システムには浚渫モニタ，船位モニタ，施工管理モニタがあり、３台の表示器（LCD）によって運転監視情報が表示される。運転監視の各機能は以下の通りである。

（1）浚渫モニタ

スパット形状表示，集泥機位置表示，各種パラメータ設定表示，警報表示の機能がある。

図４にスパッド形状表示を示す。

図５に集泥機位置表示を示す。

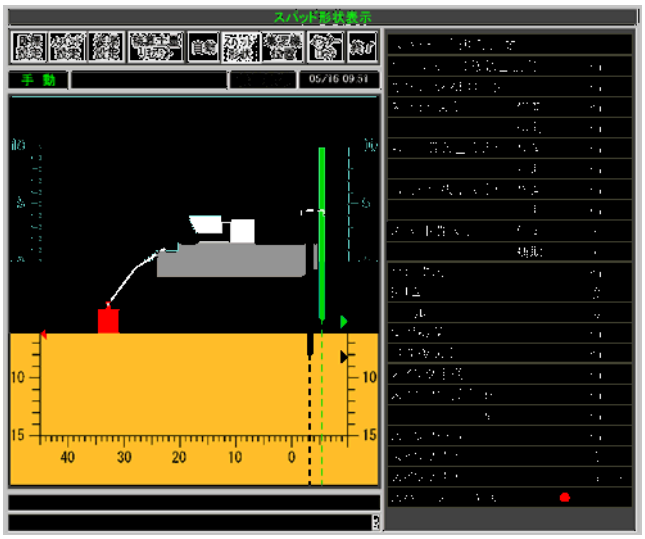

図４．スパッド形状表示

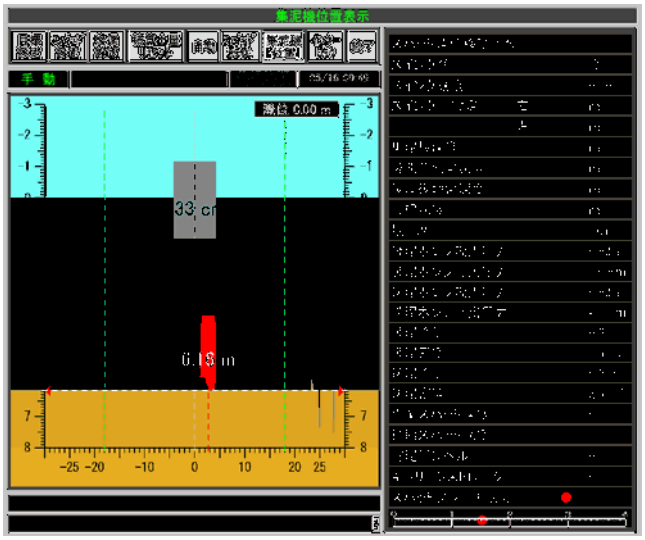

図５．集泥機位置表示

（2）船位モニタ

船位表示、パラメータ設定の機能がある。

図６に船位（集泥機位置）軌跡表示を示す。

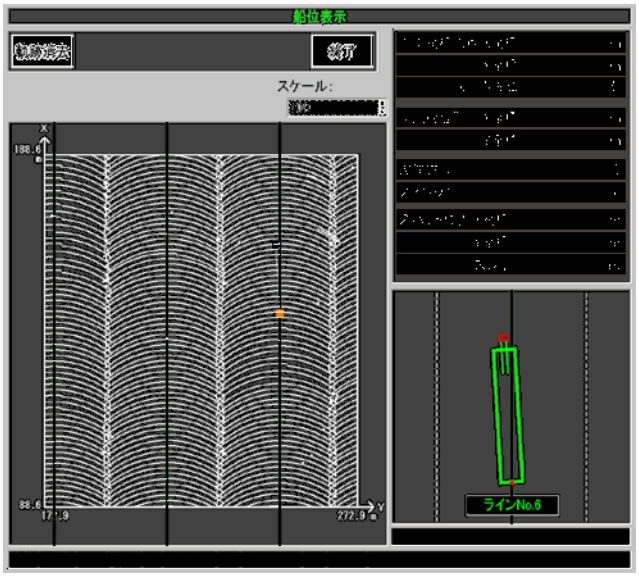

図６．船位（集泥機位置）軌跡表示

（3）施工管理モニタ

施工情報入力表示，施工管理帳表出力表示及び帳表プリンタ出力の機能がある。

図７に事業区域表示を示す。

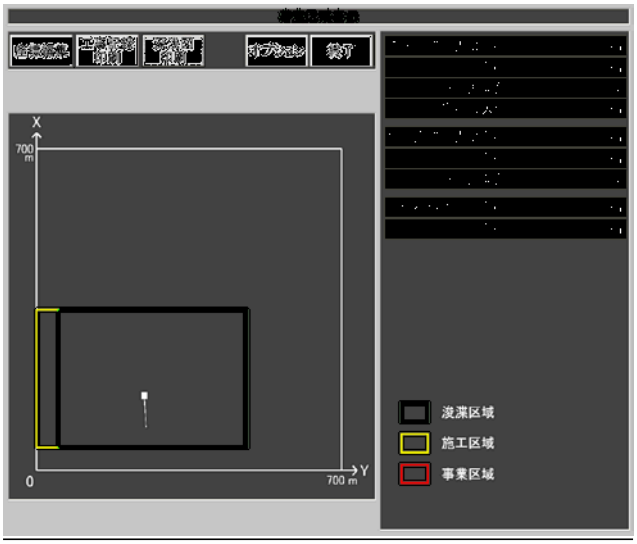

図７．事業区域表示

表１．施工精度改善

時期／事業年度		初　期 平成6年度～平成7年度	過 渡 期 平成8年度～平成13年度	現　在 平成14年度～
浚渫工区測量		湖岸からの三角測量	ＧＰＳ測量	RTK-GPS
浚渫工区の現地標識		工区4隅及び各レーン起点・終点に竹竿	RTK-GPS導入当初は竹竿併用	工区4隅のみに竹竿
船位システム		な し	RTK-GPS	RTK-GPS
方位　及び スイング角度センサー		ジャイロコンパス	ジャイロコンパス	サテライトコンパス
位置表示	船位	×	○	○
	作業ｽﾊﾟｯﾄﾞ位置	×	○	○
	作業ｽﾊﾟｯﾄﾞずれ量	×	○	○
方位計	精度	○	○	◎
	ｼﾞｬｲﾛｺﾝﾊﾟｽ初期補正	な し	RTK-GPS2点測量位置を正としてｼﾞｬｲﾛｺﾝﾊﾟｽ出力値を補正	―
施工精度改善内容		ジャイロコンパスの方位を正として前進浚渫で施工。 浚渫レーンの中心線に対して作業スパッドのズレ量が検知できず時には起点と終点(400m)で最大10mのズレが発生した。	RTK-GPSの採用により作業ｽﾊﾟｯﾄﾞの位置及び浚渫ﾚｰﾝ中心線に対するズレ量が検知され、±25cm以上のズレ量になるとｽﾊﾟｯﾄﾞ打換え時に自動修正されるｿﾌﾄを追加した。 浚渫中心に対するズレは解消した。	方位ｾﾝｻｰをｻﾃﾗｲﾄｺﾝﾊﾟｽに切替え精度・信頼性の向上を図った。 （ｼﾞｬｲﾛｺﾝﾊﾟｽは精密機械であり取り扱いを間違うと狂った角度を検出する場合がある。）

４．浚渫自動化システムの改良

４－１　ＲＴＫ－ＧＰＳ船位システムの導入

従来は陸上からの三角測量により初回スパッド位置測量をし、その位置情報を入力していた。その後の移動量及び船位はスパッドストローク値と方位ＧＹＲＯで積算していたが、スイング中のスパッドの横滑りが生じ、堀残しなどの要因となっていた。対策として陸上に測量者を張り付けて、頻繁に測量して船位修正を行っていた。測量のたびに浚渫を中止しなければならず、効率低下をきたしていた。また転船のたびに測量しながらの転船となり、位置決めするのにかなりの時間が必要であった。表１に施工精度改善を示す。

ＲＴＫ－ＧＰＳ船位システムの導入により、リアルタイムに精度よい船位計測が可能となった。これにより、スパッド打替時の船位修正が可能となり、位置ズレによる堀残しが生じなくなった。また転船時も陸上からの測量が必要でなく、移動しながら位置が把握できることにより転船時の大幅な時間短縮ができたと共に測量要員の省人化ができた。

４－２　後進浚渫の採用

従来は前進のみで計画されており、４～５００m前進するとスイングアンカーを回収し、後方に大きく転船していた。本船には排送管フロータも接続されており、合わせて移動させるため転船は１日仕事であった。

後進浚渫を採用した事により、横方向４０m転船するのみとなり、スイングアンカーの移動及び，排送管フロータの移動も不用となり、転船時間が１時間程度となり大幅に短縮された。図８に浚渫作業図を示す。

４－３　連続浚渫機能の採用

従来はスパット打替から次の打替までの浚渫１サイクル（図３のステップ１～７まで）であり、スパット打替時には浚渫目標ラインからのズレ量を手動で補正後スパットを打替ていた。

ＲＴＫ－ＧＰＳ船位システム導入によりリアルタイムに船位を計測できることから浚渫目標ラインとのズレ量もリアルタイムに計算できることからスパット打替時のズレ量補正も自動で行えるようになり、連続浚渫が可能となった。これによりスパット打替時のズレ量補正作業が不用となったことで省力化と作業効率が向上した。

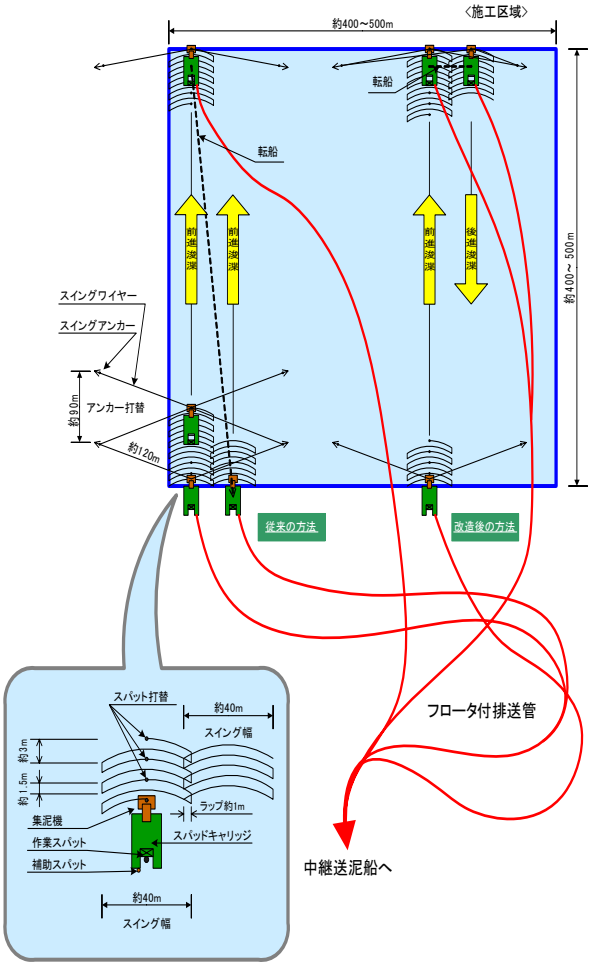

図８．浚渫作業図

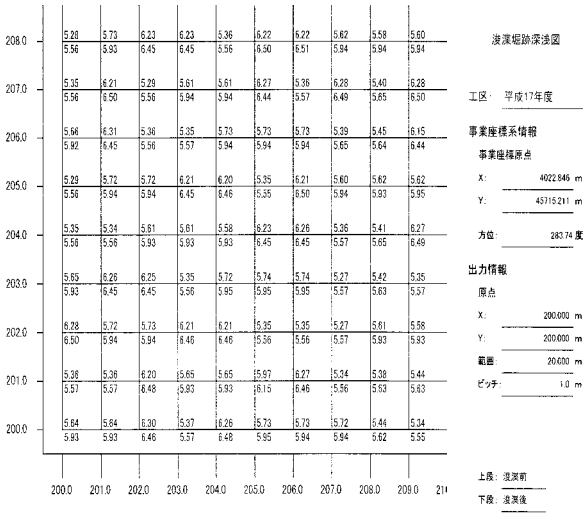

図９．浚渫堀跡深浅図帳票

４－４　施工管理システムの自動化

従来の浚渫深度管理は、船位の水位データを基に前測原地盤高さのデータから目標深度を手動で算出し、ラダーを目標深度まで下降させていた。スイング幅（約４０m）の間で目標深度が変化する場合は手動でラダーウインチを運転し、その都度深度を変更していた。施工管理の出来高検査時の深度情報は施工後の深度測定により確認している。

施工管理システムは、従来手動入力であった水位データをＲＴＫ－ＧＰＳ船位システムの乙値でリアルタイムに算出し使用し、前測原地盤高の電子データを本船のシステムに取り込んで、浚渫コース設定・浚渫目標深度などの浚渫に必要な諸データを自動作成する。

浚渫開始後の集泥機目標深度を保持するようラダーウインチをリアルタイムに自動制御する。

浚渫後の出来高管理データ取得のため、測深器を装備し、浚渫を進めながら施工後の深度データを収録する。図９に浚渫堀跡深浅図帳票を示す。

浚渫終了後出来高管理表（座標，前測原地盤高，集泥機浚渫深度・出来高深度）を自動作成する。

出来高管理表を作成することで、作業効率向上（余堀の減少）を図った。

５．あとがき

霞ヶ浦の浚渫において、『カスミザウルス』は１１年間の稼働の中で、合理化施工、効率向上、省力化等の目的で改良を加えて現在に至っている。施工管理システムについては、出来高管理に置き換えるまでは確立されていないが今後の施工の中で精度、計測の諸条件等の各種データを蓄積し、施工の合理化を図っていきます。

また、霞ヶ浦は地域の人々にとって非常に関わりの密接な湖である。

『カスミザウルス』が湖の再生のために大いに活躍し、環境改善が図れればと期待しています。