

タイトル ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開 「海洋・港湾工事における情報化技術」 概要版

はじめに

近年の港湾海洋工事では「熟練者不足」や「急速大量施工」を命題とした捨石均し機や作業船の自動化の時代から「コスト縮減」「少子高齢化」「維持管理」といったキーワードが要望され、自動化・ロボット化はかなり厳しい状況となっている。

一方コンピュータの高性能化・低廉化、GPSの汎用化と超音波による海中位置確認技術等により測量や海中探査、構造物の設置や作業船の位置決め等の自動化が進んでいる。

ここに今後の「海洋・港湾工事における情報化技術」の方向を考えるため

1. 情報技術を用いた海洋工事の現状と動向
2. 海洋工事の情報化技術
3. 海洋工事の情報化技術の将来展望

について報告書をまとめたのでその概要を以下に記述した。

第1章 情報化技術を用いた海洋工事の現状と動向

最近の海洋・港湾工事において情報化技術（IT）を用いた作業機械・船舶や工事を工種別に調査し、どの分野でどのように利用されているのかを以下に記述した。

海洋・港湾の工種として次のものを挙げる。

「調査・測量工」「浚渫工」「埋立工」「基礎工」「本体工」「沈埋トンネル」「航行安全」

1.1 調査・測量工

陸上における調査・測量技術の進歩はめざましく、光学的探査・超音波探査・光波測位・電波測位・GPSなど多くの技術が活用されている。一般的に、水中で使用できる技術は距離によって限定される場合が多い。水中作業機に制御線がある場合には、その長さによって行動・計測範囲が規制される。また制御線がない場合、行動範囲が狭い時には光学・電波技術が使用され、行動範囲が広い時には超音波技術やパソコン制御による自律行動技術が使用されることが多い。現在、陸上のGPS技術と水中の超音波技術（SBL等）・パソコン制御技術を組み合わせ、さらに船上のパソコンで管理するIT技術が増加している。

今後、さらにIT化を推進することによって、水中における調査・測量技術の省力化・

効率化を図ることができると思う。

表 1.1.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
電話回線による遠隔データの収集・監視装置	D	電話回線、モデムロガー、遠隔監視、特定小電力無線	専用回線・システムが不要。システムの変更が容易。	3
自動ベルーガ	A	ナローマルチビーム、レーザーミラースキャナー	装置が小型。自動航行。浅い所で測量可能。	5
AQUA EXPLORER 2	B	無索式水中ロボット、海底ケーブル、ファジー制御、超音波データ通信、リチウムイオン2次電池	無索式。自律航行。自由に動ける。自動追尾。装置が小型。長期使用可能な水中動力。水中無線通信。	5
WISEシステム	C	GPS、海底沈下計測、双方向無線	双方向無線通信。送信時間指定可能。通信方式選択。	4
湖水観測水中ロボット「淡探」	B	無索式水中ロボット、湖水観測、水質データ、水中顕微鏡、リチウムイオン2次電池	無索式。自律航行。自由に動ける。長期使用可能な水中動力。水中無線通信。	5
浮泥層判定装置	B	浮泥層、3周波同時測定	浮泥層厚を検知できる。	1

区分： A.作業船 B.作業機械 C.作業船と陸上基地 D.作業機械と陸上基地
 IT分類： 1.情報は一方通行 2.情報は一方通行とフィードバックの両方 3.情報はフィードバック
 4.情報をフィードバックしながら一部自動制御 5.情報をフィードバックしながら完全自動化

1.2 浚渫工

浚渫工においては、ほとんどの浚渫船、浚渫機に GPS 測位システムを導入している。GPS により得られた平面的(一部は三次元)な位置情報から自動または運転員による浚渫作業を行っている。

近年建造されたドラグサクシオン浚渫船は IT 技術を駆使して自動化、省力化が大きく進んでおり、一部には浚渫の自動制御に、自動シーケンス制御とファジー制御を取り入れているものもある。しかしながら浚渫作業船の代表にポンプ式浚渫船があるが、昭和 60 年代以降に新造されたものはほとんど無く、近年の IT 技術が革新的に進歩している中で取り残された感がある。

「ふたば 2 号」は自動化・ロボット化された浚渫機であり、使用実績から得られた様々な IT 技術が今後建造される他の浚渫船・浚渫機に応用されることが望まれる。

表 2.2.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
浚渫ロボット「ふたば 2 号」	D	水中ロボット、全自動浚渫、海底自動歩行、有線動力、遠隔操作	高波高・強潮流の厳しい海象条件下で稼働が可能。全自動運転ができる	5
ドラグサクシオン浚渫船 海翔丸	A	油回収機能を兼ね備えたドラグサクシオン式大型浚渫船	大型船の頻繁に航行する航路の大量急速な浚渫が可能	4
ドラグサクシオン浚渫船 Queen of Penta-Ocean	A,C	埋立造成、海砂採取、遠隔制御ドラグサクシオン浚渫船、自動化、ホッパー容量 20,000 m ³ 、省力化	従来工法のバジローディング式浚渫船に替わる自航式浚渫船。自動化と省力化を実現	4
ターンスイーパー方式による高濃度浚渫・排送工法	B	自動化システム、自動運転制御、GPS、運転管理、出来形管理、高濃度浚渫	水質環境の保全 高濃度浚渫、薄層浚渫ができる	4

浚渫工事深浅測量における RTK-GPS 深浅測量システム	C	測量、深浅測量、GPS、GPS 測量、GPS 深浅測量	耐候性や障害物に左右されず 測量が可能となった。 潮位補正と測量船の動揺補正 を必要としない。	1
-------------------------------	---	-----------------------------	---	---

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

1.3 埋立工

関西国際空港 2 期工事や中部国際空港建設工事に代表される大規模急速施工の埋立工事では多数の作業船の入出域管理データや施工位置情報などのほぼすべてを GPS 測位で管理している。これらの情報は、企業者、施工者が情報ネットワーク網を活用して情報を共有し、円滑な施工と効率化、省力化を図っている。

これらの大型プロジェクトで開発された施工管理システム（土運船運行管理システム、深浅測量システム、直投管理システム、造成管理システム、出来形管理システム）は、埋立工事だけでなく各工種に使用されており、特に深浅測量システムで採用されたナローマルチビーム音響測深機は測深技術と、精度を飛躍的に向上させた。

表 2.3.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要（キーワード等）	開発のねらい	IT分類
GPS 技術を導入した施工管理・運行管理システム - 関西国際空港 2 期用地造成工事	C	GPS による大量急速施工の効率化 施工管理システム・運行管理システム	大量急速施工での施工位置情報の管理 施工情報の統合的なデータベース	3
低公害ベルトコンベア工法	E	常陸那珂港北埠頭埋立工事、 経済性、周辺環境小、急速大量	急速大量施工に対する騒音・ 周辺交通への影響の低減	-
二重トレミー管工法による土砂の投入	A	二重トレミー、環境対策、浚渫土砂、有効利用、施工管理（GPS 海上測量システム、オートレッド測深機）	土砂の投入時の汚濁防止枠を不要とした。 汚濁拡散拡散の低減	1
大規模埋立に対応した土運船光波式土量自動計測システム	B	光波式土量自動計測システム、土量検収、ガウス形関数近似法、大規模埋立工事	土砂投入サイクルの短縮 土砂検収精度向上 土量検収コスト縮減	1
中部国際空港島の建設における IT 情報化施工	C、D	破碎岩、土砂生産管理技術、埋立管理技術、IT 化施工	各システムの連携、統合管理により効率化、省力化。	3

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

1.4 基礎工

基礎工において、海上からの施工では GPS により得られたデータから、作業位置へのポジショニングを自動または船員による操船により誘導するシステムが開発されている。水中施工においては、陸上機械を水中仕様にした潜水土搭乗式水中バックホウが開発されており、実用化に至っているが、潜水土の視認による作業であるために、透視度に影響される。

上記の問題に加え、潜水土の減少等により、無人化施工の必要性が高まっており、水中での作業機械の位置出し、視認技術、遠隔操縦技術の開発が始まっており、実証

実験がなされている。今後は水中視認技術の確立により、水中作業機械の無人化施工は普及展開が図られるものと考えられる。

表 2.4.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
港湾構造物検査装置の開発 (ROVを活用したシステムの構築を目指して)	C	ROV(自航式水中視認装置) GPS SBL受信機	基礎工における基礎均し面の出来形検査をROVを利用して効率的に行う。	2
杭打込み管理・リバウンド計測システム - 美原大橋大規模鋼管矢板基礎における情報化施工 -	B	矢板打ち込み管理システム 自動計測システム	鋼管矢板打設時の情報化施工	3
常陸那珂港防波堤工事の機械化施工	B	捨石均し機械化施工	実用・実施段階海象気象対策と大深度化への対応	2
海底ケーブル埋設用海底岩盤掘削機	B・D	海底ケーブル、岩盤掘削、不陸除去、溝掘削、遠隔操作	電波測位・光波測位・大深度対応・遠隔操作	1
水中多機能作業機 (水中バックホウ)の大型化と周辺技術の開発状況	D	水中バックホウ、水中施工、捨石均し、トレンチ掘削、水中打設、無人化施工、浅海域施工	水中土木作業の効率化、安全性向上、水中視認技術の確立、遠隔操縦技術の確立	1

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

1.5 本体工

本体工においては、海上からの本体据付けがほとんどであり、基礎工と同様にGPSにより得られたデータから、作業位置へのポジショニングを自動または船員による操船により誘導するシステムが開発され、実用化されている。

建設現場は情報機器にとって過酷な環境であり、利用者は必ずしも機器になれていない人が扱うこともあり、予期せぬトラブルが発生することがあり、一連のシステムではどれか一つでも支障をきたすとシステムとして機能しないことが多い。今後は、システムの簡素化とそれに伴うシステムの安定性の向上、利便性の向上を図っていく必要がある。

表 2.5.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
釜石港湾口防波堤の技術 - 南防波堤への大型台形ケーソン 第一号函据付け -	C	ケーソン据付け) GPS	基礎工における基礎均し面の出来形検査をROVを利用して効率的に行う。	2
RTK-GPSを用いた情報化施工	C	ケーソン設置位置決めシステム 土砂・岩石(水中)掘削管理システム	GPSを用いたケーソン位置決めシステム	3
ワイドベースライン	A	小型船で水深200mを測深 3隻の小型船でGPSと超音波を使用	大水深対応測深	3
常陸那珂港防波堤工事の機械化施工	B	急速施工ケーソン製作、ケーソン運搬	急速施工	2

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

1.6 沈埋トンネル

沈埋トンネルにおける沈埋函の沈設位置誘導システムでは、これまで施工精度の観

点より自動追尾式光波測距儀を使用した位置決めシステムが使用されてきている。これらはオペレ - タによる操船位置決めが主であった。

近年における、海上ケーソン工事等では RTK-GPS やトータルステーションを使用した位置決めシステム・自動操船据付けシステム等が開発されている。ケーソン工事よりも施工規模が大きく、構造物も大きく、水深も深く、潮流等の自然条件の影響を受けやすい沈埋函据付け工事においては、これらの課題を解決したより安全な、自動沈設函誘導・沈設システムの開発が今後は期待される。

表 2.6.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
沈埋函の据付け施工 - 新・衣浦海底トンネル -	C	函体測位システム、位置誘導システム、自動追尾式光波測距儀、超音波式位置計測装置	沈設設備の簡素化、沈設精度の向上、沈設工期の短縮を目的として位置誘導・測位システムを開発	3
沈埋函沈設装置 - 新潟みなとトンネル -	A	自動沈設装置により沈設函の位置誘導、集中管制監視システム、バラスト注水制御	これまでの大型起重機船による施工課題を自動沈設装置を開発することで解決	4

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

1.7 航行安全

近年の海上工事における航行安全については、特に交通量が多い、船舶交通が輻輳する海域では、海上における船舶交通の安全確保は必要不可欠となっている。船舶の事故が発生すると環境への負担も多くなり社会問題となっているのが現状である。

船舶の種類や大小に関わらず、最近ではほとんどの船舶に GPS 装置が搭載されており、これらをより効果的に、有効的に活用すべきである。既存技術のレーダシステム技術や急成長を遂げる GPS 技術、携帯電話等を使用した情報通信技術を更に有効活用することで、個々の海域だけの航行安全システムにとらわれることなく、日本全体(諸外国を含め)海域で使用可能なグローバルなシステム作りが必要である。

表 2.7.1 現在使用されている情報化技術の例

技術名称	区分	概要(キーワード等)	開発のねらい	IT分類
GPS 技術を導入した運航管理システム 関西国際空港 2 期工事	C	大量急速施工での航行安全対策、GPS、MCA、レーダ	作業船の海上運航の円滑化、海上作業の安全確保を目的として、GPS 情報、運行情報を一元的に管理出来るシステムを開発	4
東京湾航行安全対策システム 東京湾アクアライン	C	作業船舶と航行船舶の安全対策、VHF、UHF、レーダ	東京湾における、工事の安全と船舶の安全を図るため航行安全センターを設置し、情報、警戒、運航、保安応急業務を昼夜実施するために開発	3
浦賀水道航路と中ノ瀬航路の安全対策システム	C	作業船舶と航行船舶の安全対策、監視カメラ、ISDN 回線、レーダ	工事海域付近を航行する船舶と、工事に係わる作業船との運航調整を図り、警戒業務を含めた安全体制を確立するために開発	2

区分・IT分類 : 1.1 調査・測量工を参照

第2章 海洋工事における情報化技術

前章で情報化技術を利用した工事例などを紹介したが、第2章では海洋工事で利用可能な情報化技術を整理して記述する。海上で利用されている情報化技術は陸上のそれと類似するものが多いが、水中や海中といった海洋工事特有の作業環境下においては陸上とは異なる情報化技術が要求され、これらを水中で効果的に利用するための周辺技術の拡充も求められている。

ここでは特殊な作業環境下で利用可能な、または可能性のある情報化技術を中心に紹介し、それらの利用の促進やとりわけ水中作業のロボット化に向けて期待される動力源についても紹介する。

2.1 水中測位技術

水中での測位作業は陸上でのそれとは大きく異なる方法で行われており、システムも比較的規模が大きい。その方法を大別すると、基準位置からの相対位置を求める「相対測位型」、地球上での絶対位置を直接計測する「絶対測位型」、自身の運動等を計測して位置を算出する「自己完結型」とに分けられる。

相対測位型	LBL、SBL、SSBL等の音響測位が代表的
絶対測位型	GPS等人工衛星による電波測位が代表的だが、水中では直接利用不可
自己完結型	デッドレコニングに用いる慣性航法、オドメトリ方式等

2.2 水中視認技術

水中視認技術のほとんどは音響に頼るしかないのが現状であるが、海底状況の把握やその測量が目的の場合は音響による海底地形調査技術は非常に強力なツールとなっている。そして、これらのほとんどはオフラインで地形調査の結果を画像等で提示することを想定するものである。

水中作業機械や水中作業ロボットの「目」として既存の水中視認技術を捉えた場合、リアルタイムの立体映像が望ましいが、この用途において完全な実用段階に移行するためには立体映像の分解能や更新速度、リアルタイム性などに解決すべき課題が残っている

電子フォーカス方式	位相合成操作を電気的に行うマルチナロービーム式等
音響レンズ方式	位相合成操作を音響レンズで行う
音響フォログラフィー方式	超音波の干渉現象を用いて結像する

2.3 水中通信技術

電磁波の減衰度は可視光域を除いて非常に高く、水中での無線・無索通信についてはほ

とんどの場合において音響に頼らざるを得ない。電磁波と超音波のそれぞれの媒質中での伝播速度の違いを単純比較してもこれらの間には伝送可能な情報量に圧倒的な差があるが、これは相互通信やその同時性についても大きな影響を及ぼすものである。このことから海底深くあるいは大海原の海中で活動する無索機械については母船等からの多大な支援は期待できず、この種の機械にとっては機械自身での判断や問題の解決が可能な自律性やある種の知能がさらに重要な意味を持つことも理解できる。

水中でのデジタル通信は音響による位相変調を用いることが多く、情報の多重化や劣化抑制の目的で M 系列やゴールド系列変調が併用される場合がある。これは水中トランシーバや潜水艇などとの通信などにも用いられることがあり、AUV 等の水中作業ロボットとの通信にも利用可能である。

2.4 動力源

現状の一般的な海中動力源を大別すると、無索式の場合は二次電池、有索式の場合はケーブルを介しての海上から電力や油圧の供給が挙げられる。索による行動の制限がない現在および将来の水中作業機械や水中作業ロボットでの利用を念頭におき、無索式の水中作業機械に対して適用の見込みのある動力源について述べる。

AUV 等でよく用いられる二次電池のほか、燃料電池、閉鎖式内燃機関、小型原子炉なども研究用途や軍事用途として利用された例がある。とりわけ燃料電池については水中に限らず今後期待の大きな動力源の一つに挙げられる。燃料電池自体の種類は電解質の違いによって区別され、それぞれことなる特性や適正を有している。

第3章 将来展望

海洋・港湾工事における工種毎の情報化技術（情報化施工）の代表的な技術ととなる技術について述べた。第3章は最新の海洋プロジェクトについて紹介し、そのことを踏まえ将来必要となるであろう大深度重作業技術について述べ、「海洋・港湾工事における情報化技術」の将来展望とする。

3.1 情報化施工・技術開発について

- 1) 情報化施工とは
- 2) 港湾工事を円滑に推進してきた情報化技術
- 3) 新規プロジェクトを生み出すための技術開発
- 4) 研究開発担当者へ期待すること

3.2 最新の海洋プロジェクト

- 1) 海洋肥沃化装置「拓海」プロジェクト
- 2) 大陸棚調査プロジェクト
- 3) 人工海底山脈の造成プロジェクト
- 4) 湧昇流発生装置 - ついたて魚礁
- 5) 地球深部探査船「ちきゅう」と統合国際深海掘削計画
- 6) 洋上風力発電プロジェクト

3.3 大深度重作業の現状と将来

港湾プロジェクトが海上から主に作業を行うのに対して、海洋では大水深（30m以深）となることから、海上からの作業は困難を極めている。現状では、大水深に対応した作業機械がないことから、やむなく海上から作業を行っている。大深度における重作業を行える作業機械が出現し、大水深の海底またはその極近傍から作業を行えるようになれば、安全面からも、経済面からも十分価値があると考えられる。更に、メタンハイドレート、コバルト・リッチ・クラストからの希少金属の回収にも役立つであろうと思われる。

大深度重作業を行える作業機械は「情報化技術（IT）」を駆使することが必須となる。またその技術は海洋工事のみでなく港湾工事にも活かされると期待される。

おわりに

本報告書では、海洋・港湾工事の各工種分野での情報化技術の現状や、水中作業に必要とされる情報化技術について調査・報告した。

「調査・測量」分野での地形測量技術は出来形管理や水中構造物の位置管理にも使用され汎用的な技術になりつつある。また「航行安全」のGPSを中心にした運航システムは特に大規模埋立他の「人工島」や「航路浚渫等」では品質・工程を含めた「施工管理」に欠かせない技術となっている。

現在の日本の経済情勢では大規模急速施工のプロジェクトが減少傾向で、厳しいコスト縮減を強いられ「情報化技術」を数多く使用する大型ロボットの開発は難しい。しかし、従来の海洋・港湾工事やリニューアル工事でも「少子・高齢化」への対応、自然エネルギー、海底資源利用といった分野での「大水深重作業」に備えて「情報化技術」「施工技術」の更なる研究・開発・普及がのぞまれるところである。