

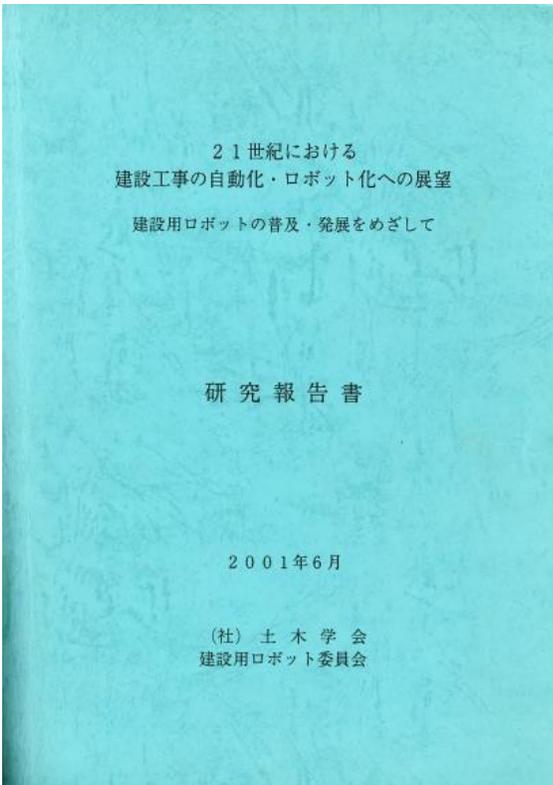
建設機械の自動化・ロボット化の現状と今後の展望

2024年12月

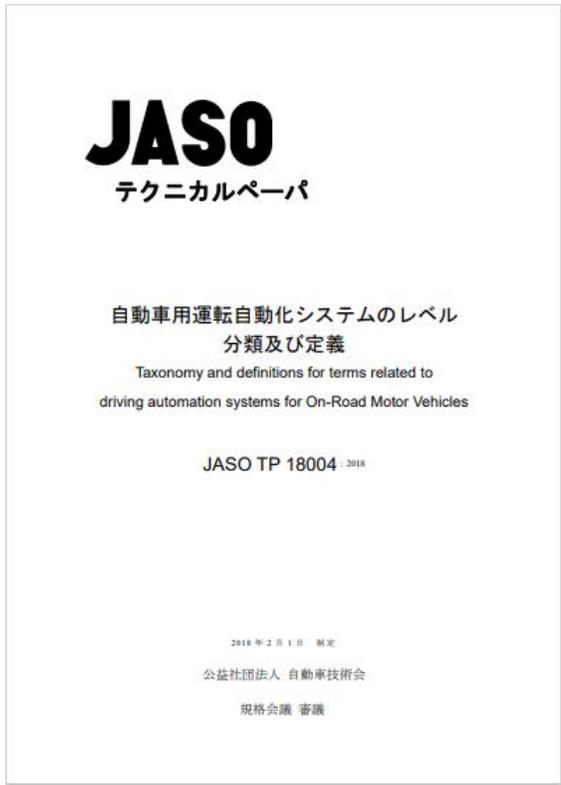
土木学会 建設用ロボット委員会
建設施工小委員会

1.活動の概要と趣旨	2頁	3.活動の結果	12頁
1.1概要		3.1陸上工事用機械	
1.2活動の趣旨		3.2シールド工事用機械	
1.3先行研究等		3.3海洋工事用機械	
2.活動の方法	5頁	4.参考資料	55頁
2.1活動のテーマと方針		4.1先行研究等	
2.2対象とした建設機械		4.2建設施工小委員会名簿	
2.3自動化レベルの考え方（定義）			
2.4評価対象			
2.5整理表			
2.6概要資料			

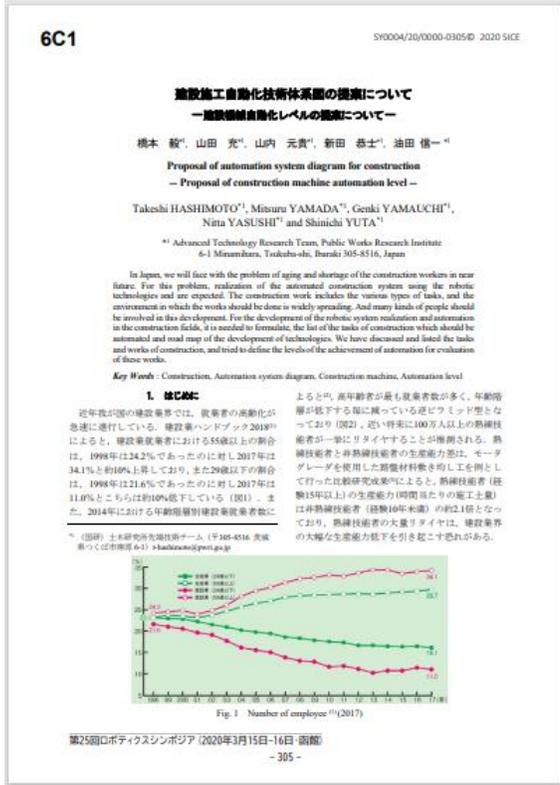
- ▶ 建設用ロボット委員会建設施工小委員会は、2020年～2023年に建設機械の自動化・ロボット化の現状と今後の展望について活動した。
- ▶ 建設用ロボット委員会は、1998年～2001年に建設機械の自動化・ロボット化について、シールド技術や海洋技術を対象に研究しているが、今回、改めて、現在の自動車用運転自動化システムのレベル（分類及び定義）や土木研究所で実施された建設機械の自動化に関する研究を踏まえ、建設機械の自動化・ロボット化の現在の状況と今後の展望について明らかにするべく、資料収集整理を行い、一覧表に取りまとめる活動を行った。



21世紀における建設工事の自動化・ロボット化への展望21世紀における建設工事の自動化・ロボット化への展望、(社)土木学会建設用ロボット委員会、2001年6月。



JASO テクニカルペーパー：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義, JASO TP18004, 2018.



橋本毅, 山田充, 山内元貴, 新田恭士, 油田信一：建設施工自動化技術体系図の提案について, 第25回ロボティクスシンポジウム, 2020.

- ▶ 建設機械の自動化・ロボット化については、従来より、建設用ロボット委員会の調査・研究の他、社会インフラ整備に関わる多くの関係者により、多くの調査・研究・開発・普及が行われてきた。その多くの取り組みは、施工現場におけるニーズ、すなわち、省人化・省力化、施工期間の短縮、品質の確保・向上、コスト縮減、施工現場の安全性向上、災害対応等を背景としたものであり、今後においてもこれらのニーズを背景に多くの取り組みがなされると考えられる。
- ▶ これらのニーズの中でも省人化・省力化については、現在、我が国が直面している少子・高齢化等を背景に、建設業への就業者が減少する中、建設機械のオペレーションに携わる者（運転者（人））についても例外ではなく、このため、建設機械のオペレーションに関して、現在、運転者（人）が現在担っている役割や機能は、今後、運転者（人）からシステムへ移していくことが求められると考えられる。
- ▶ このような状況の下、米国自動車技術会（SAE：Society of Automotive Engineers）による自動車用運転自動化システムのレベル（分類及び定義）やこれを踏まえて土木研究所で行われた建設機械の自動化に関する研究（以下、「先行研究等」という）では、自動化のレベルについて、そのレベルを0～5まで整理しているが、このうちレベルの0～4は、主として自動車用自動化システムでは動的運転タスク、建設機械では建設機械の動作や施工のための検知と判断等に関する人とシステムの役割分担による区分となっている（次頁参照）。
- ▶ 今回の活動は、建設用ロボット委員会建設施工小委員会に参画している者が、上記で述べた建設機械のオペレーションを取り巻く現在の状況等を踏まえつつ、建設機械を構成する装置や動作について、先行研究等の自動化のレベルの定義および分類が人とシステムの役割分担で区分されていることにも着目し、建設機械の自動化・ロボット化の現在の状況と今後の展望について明らかにするべく、分担して取り組んだものである。

レベル	自動車用運転自動化システム					建設機械				
	名称	動的運転タスク		動的運転タスクの 動作継続が困難な 場合への応答	限定領域	定義	建設機械動作	高効率施工を行う ための検知と判断	トラブルへの対応	現場条件限定
		持続的な横・縦の 車両運転制御	対象物・事象の 検知及び応答							
0	運転自動化なし	運転者	運転者	運転者	適用外	自動化なし	運転者	運転者	運転者	あり
1	運転支援	運転者とシステム	運転者	運転者	限定的	各動作自動化 (個別で良い)	運転者とシステム	運転者	運転者	あり
2	部分運転自動化	システム	運転者	運転者	限定的	一連動作自動化	システム	運転者	運転者	あり
3	条件付運転自動化	システム	システム	作業継続が困難な 場合への応答準備 ができていない利用 者（代替中ドライ バになる）	限定的	高効率施工を行う ための検知と判断 の自動化	システム	システム	運転者	あり
4	高度運転自動化	システム	システム	システム	限定的	トラブル対応 の自動化	システム	システム	システム	あり
5	完全運転自動化	システム	システム	システム	限定なし	現場条件 限定の開放	システム	システム	システム	なし

本表は、下記の参考文献をそれぞれ引用し作成した。

①自動車用運転自動化システムについては、JASO テクニカルペーパー：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義, JASO TP18004, 2018.

②建設機械については、橋本毅, 山田充, 山内元貴, 新田恭士, 油田信一：建設施工自動化技術体系図の提案について, 第25回ロボティクスシンポジウム, 2020.

- ▶ 今回の活動では、二つのテーマを設けた。
- ▶ 一つは、自動化の現状とニーズをテーマに、施工現場からみた機械・機能別の自動化の現状とニーズを明らかにすること（テーマ1）であり、もう一つは、自動化への展望をテーマに、今後の自動化への展望を明らかにすること（テーマ2）である。
- ▶ テーマ1については、機械の装置あるいは機能を整理し（STEP1）、その整理を踏まえ、現状の自動化のレベルを整理する（STEP2）。その上で、現状の自動化のレベルに対して、更なる自動化への期待（必要性、ニーズ）を明らかにする（STEP3）こととした。
- ▶ テーマ2については、テーマ1のSTEP1で整理した装置あるいは機能毎に、テーマ1のSTEP3で明らかになった期待される更なる自動化への取り組み等を整理し（STEP4）、また、期待される高次元の自動化に向け、必要となる、あるいは、利活用が期待される要素技術を整理する（STEP5）こととした。

■テーマ1：自動化の現状とニーズ

施工現場からみた機械・機能別の自動化の現状とニーズを明らかにする。

- ▶ **STEP1**：選定した機械の装置あるいは機能を整理する。
- ▶ **STEP2**：整理を踏まえ、現状の自動化のレベルを整理する。
注）自動化のレベルは、先例研究等のレベル（0～5までを参考にする）。
- ▶ **STEP3**：現状の自動化のレベルに対して、更なる自動化への期待（必要性、ニーズ）を明らかにする。

■テーマ2：自動化への展望

今後の自動化への展望を明らかにする。

- ▶ **STEP4**：テーマ1のSTEP1で整理した装置あるいは機能毎に、テーマ1のSTEP3で明らかになった期待される更なる自動化への取り組み等を整理する。
- ▶ **STEP5**：期待される高次元の自動化に向け、必要となる、あるいは、利活用が期待される要素技術を整理する

- 今回の活動で対象とした建設機械は、下記の通りである。これらについて、建設施工小委員会に参画している者が3つのグループに分かれ、それぞれ分担して活動を行った。

◆陸上工事グループ（陸上工用機械）

No.	建設機械名
①	ブルドーザ
②	油圧ショベル
③	ダンプトラック
④	不整地運搬車
⑤	振動ローラ

◆シールド工事グループ（シールド工用機械）

No.	区分
①	シールド工事共通
②	土圧式シールド
③	泥水式シールド

◆海洋工事グループ（海洋工用機械）

No.	作業船名
①	ポンプ浚渫船
②	グラブ浚渫船
③	バックホウ浚渫船
④	起重機船
⑤	杭打ち船
⑥	深層混合処理船（CDM船）
⑦	サンドコンパクションパイル船（SCP船）
⑧	プレミックス船（PMC船）

- 今回の活動における自動化レベルの考え方（定義）は、先行研究等を踏襲しつつ、グループ毎に対象としている建設機械等の特性を踏まえて設定した。なお、人（運転者）とシステムの機能・役割分担は、先行研究等に倣うこととした。

レベル	陸上工事グループ （陸上工事用 機械）	シールド工事 グループ （シールド工事用 機械）	海洋工事グループ （海洋工事用 機械）	備考（先行研究）				
				定義	建設機械動作	高効率施工を行う ための検知と判断	トラブルへの対応	現場条件限定
0	自動化なし	自動化なし	自動化なし	自動化なし	運転者	運転者	運転者	あり
1	各動作自動化 （個別で良い）	一部動作自動化	各動作自動化 （個別で良い）	各動作自動化 （個別で良い）	運転者と システム	運転者	運転者	あり
2	一連動作自動化	一連動作自動化	一連動作自動化	一連動作自動化	システム	運転者	運転者	あり
3	高効率施工を行う ための検知と判断 の自動化	高効率施工を行う ための検知と判断 の自動化	高効率施工を行う ための検知と判断 の自動化	高効率施工を行う ための検知と判断 の自動化	システム	システム	運転者	あり
4	トラブル対応 の自動化	トラブル対応 の自動化	トラブル対応 の自動化	トラブル対応 の自動化	システム	システム	システム	あり
5	現場条件 限定の開放	現場条件 限定の開放	現場条件 限定の開放	現場条件 限定の開放	システム	システム	システム	なし

注）先行研究：橋本毅，山田充，山内元貴，新田恭士，油田信一：建設施工自動化技術体系図の提案について，第25回ロボティクスシンポジウム，2020。

- ▶ 今回の活動においては、対象とした建設機械を構成する装置や機能（作業や動作等）を対象に評価を行うこととした。その評価の対象については、用意した整理表（次頁参照）の大項目・中項目・小項目を使用し、グループ毎に対象とする建設機械の特性等を踏まえて、グループ毎に整理することとした。
- ▶ 整理にあたっては、自動化レベルの評価が可能なところまで項目を細分化することとし、自動化レベルが評価ができないような大きな括りとはならないようにすることとした。
- ▶ こうした考えの下、大項目・中項目・小項目の整理を行い、陸上工事グループでは陸上工事用機械について建設機械が行う作業や動作（下記表の中項目）を対象に、シールド工事グループではシールド工事用機械についてシールド機や付帯設備を構成する装置やその制御や計測（下記表の小項目）を対象に、海洋工事グループでは海洋工事用機械について作業船を構成する装置（下記表の中項目）を対象に評価を行うこととした。
- ▶ また、現状の自動化レベルの評価にあたっては、評価対象とした装置や機能（作業や動作等）が一般化していることでなく、現状における最先端の装置や機能であること（トップランナーの装置や機能であること）を前提とした。
- ▶ なお、現状、開発中の技術については、テーマ2の自動化への展望の中で整理する。但し、開発中の技術は、公表されているものまでを対象とし、非公表のものは対象としないこととした。

	陸上工事グループ	シールド工事グループ	海洋工事グループ
大項目	陸上工事用機械（建設機械）	シールド工事用機械 （シールド機・付帯設備）	海洋工事用機械（作業船）
中項目	陸上工事用機械が行う 作業や動作	シールド工事用機械における 制御項目・作業・装置	海洋工事用機械を構成する 装置
小項目	中項目で整理した作業や動作に必要な 機械の動作 や、作業・動作に必要な 装置類	中項目で整理した制御項目・作業・装置の詳細や構成（ 制御詳細・計測詳細・構成装置 ）	中項目で整理した装置を構成する 機器類・装置の作業 や動作に必要な センサー類

- 今回の活動を進めるにあたっては、建設施工小委員会に参画している者が分担して行うことから、予め整理表を用意した。
- テーマ1のSTEP1で行う、選定した建設機械や建設機械を構成する装置あるいは機能や動作等を記載するための欄（大項目・中項目・小項目）、STEP2で行う、現状の自動化のレベルを整理し、その概要を記載するための欄（自動化レベル（現状）・自動化の概要（現状））、STEP3で行う、現状の自動化のレベルに対して更なる自動化への期待(必要性・ニーズ)を記載するための欄（自動化のニーズ）を用意した。
- また、テーマ2のSTEP4で行う、期待される更なる自動化への取り組み等を整理するため、自動化レベル（目標）およびそれに向けた現在、あるいは今後期待される取り組みを整理するための欄（自動化レベル（目標）・現在、あるいは今後期待される取り組み）、STEP5で行う、期待される高次元の自動化に向け、必要となる、あるいは、利活用が期待される要素技術を整理するための欄（必要・期待される要素技術）を用意した。
- そして、整理にあたって参考とした文献やHP等について、記載するための欄（備考）を設けた。

大項目	中項目	小項目	自動化レベル（現状）	自動化の概要（現状）	自動化のニーズ	自動化レベル（目標）	現在、あるいは今後期待される取り組み	必要・期待される要素技術	備考

- 今回の活動においては、対象とした建設機械の中には、馴染みのない建設機械もあることから概要資料を作成することとした。概要資料の作成にあたっては、特に評価対象とした中項目や小項目については記載することとした。
- 下記に概要資料の一例を、次頁に概要資料と整理表の関係の一例を示す。

サンドコンパクション船(SCP船)概要

サンドコンパクション船 (SCP船) は軟弱地盤中に振動あるいは回転を用いて砂を圧入し、良く締め固められた砂杭を造成して軟弱地盤を改良することを目的とした作業船です。造杭方式として動的締め固め方式 (打戻し締め固め方式) と静的締め固め方式があり、それぞれに特徴のある締め固め装置を装備しています。

< 船体諸元例 >

船長：70.00m
 船幅：30.00m
 深さ：4.50m
 吃水：2.30m
 造杭方式：打戻し締め固め方式

< 参考能力 >

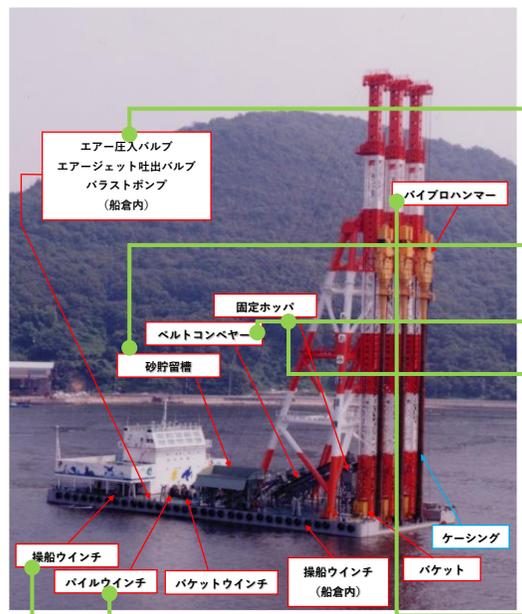
最大打設深度：水面下55m
 連装数：3連
 砂杭径：0.8～2.0m
 打設ピッチ：0.8～6.8m

※上記諸元と能力は、
あおみ建設の「KSC-K75」



※赤枠:中項目選定の装置
青枠:中項目選定外の装置

概要資料と整理表の関係の一例 (例. サンドコンパクション船 (SCP船))



大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは今後期待される取り組み	必要・期待される要素技術	備考	
サンドコンパクション船 (SCP船)	中項目	バイロウインチ	買入深度計測センサー 水深計	0	一部の打設工法 (現在は使用していない工法) では、造成行程 (巻下げ) において自動造成を行う機能はあるが、地盤の硬軟によりワイヤーが乱巻になったりする等修理時間が度々発生するため使用していない。ケーシング巻下操作は、地盤強度の変化に応じた移動速度の調整が必要で、自動化は難しく、手動操作で行っている。現在広く行われている、打ち戻し工法では、すべて手動で行っている。	造成中のケーシング上下動作を自動で行うことで、オペレーターの熟練度の違いによる、施工時間・品質のばらつきを一定に保つことができるようにする	2	ケーシング下降時 (打ち込み時) の地盤の硬軟によるワイヤーの弛みが発生しないように、ワイヤー張力を監視して制御する方法が考えられる。実施工時のワイヤー張力がどのように変動しているかや、船体揺動やバイロハンマーによる振動の影響などを詳細に調査して考慮する必要があると考えられる。	バイロウインチのワイヤー張力や船体の揺動、バイロハンマーの振動による影響を考慮して、ワイヤーに弛みが出てウインチドラムの乱巻きが起こらないようにウインチを制御する技術が必要となると考えられる。また、上記の制御とは別に物理的にワイヤーの弛みを検知してウインチを停止するなどの安全装置も求められると考えられる。	
		エアー圧入バルブ	買入深度計測センサー ダンパー弁開閉	2	買入深度に応じてケーシング内のエアー加圧を行う	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		バケットウインチ	ダンパー弁開閉 シュート開閉 砂面計測センサー	2	常にケーシング内に規定の材料投入量が確保されるように自動で、上下動しケーシング内への材料投入を行う	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		砂貯留槽	砂排出口開閉 パイプレータ	2	ベルトコンベヤーの駆動に連動して、砂排出口を開閉し砂を排出する。砂排出中はパイプレータを運転する。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		ベルトコンベヤー	電動モーター 電動パイプレータ シュート開閉	2	バケットの材料供給動作に連動して、砂貯留槽から固定ホッパへの材料の移動を行う。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		固定ホッパ	シュート開閉 パイプレータ レベルセンサー	2	バケットの位置及び充空に連動してシュートを開閉しバケットに砂を投入する。砂排出中はパイプレータを運転	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		エアージェット吐出バルブ	砂面計測センサー 買入深度計測センサー	0	タイマーにてON-OFFを行う機能はあるが、砂排出の状況をオペレータで確認して操作しているため使用していない	造成中の砂排出状況に応じて自動でエアージェットのON/OFFを行う。	1	造成中の砂面の変化を検知することで、砂排出の状況を検知し、エアージェットのON/OFFを行う方法が考えられる。	造成中に既存の砂面計測センサーによって砂の排出状況を把握し、必要なタイミングでエアージェットバルブの開閉を制御する技術が必要と考えられる。	
		バイロハンマー	買入深度計測センサー 水深計	0	地盤境界 (水中部と地盤の境界) 高さを設定しケーシング深度に応じて自動で起動及び停止する機能はあるが現在使用していない。3基のバイロハンマーが同時起動した際の起動電流値が大きく発電機容量を超えるため手動操作している	3基のバイロハンマーの同時起動時を回避して、ケーシング深度に応じて自動で発停動作を行う。	1	バイロハンマーの電流値を監視計測 (電量計) し、順次起動となるように制御して、ケーシング深度に応じて自動で発停動作を行う方法が考えられる。	3基のバイロハンマーが同時起動にならないよう起動電流及び発電機容量を考慮して、ケーシング深度に応じて発停を自動制御し、またバイロウインチの動作とも連携する技術が必要と考えられる。	
		パラストポンプ	バルブ開閉 傾斜計 液面計	2	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように、パラスト量を調整する	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			
		操船ウインチ	GNSS	2	GNSSで船体位置を計測し、あらかじめ設定された杭点へ自動で操船ウインチを動作して移動する。但し、手動の移動に比べ移動速度が遅い。	手動操作と同程度の速度・精度にて設定された杭点位置に自動で操船ウインチを動作して移動する。	2	操船ワイヤーの張力 (ロードセル) や繰出量 (エンコーダ) を計測し、自動で複数台の操船ウインチを同時に制御する方法が考えられる。移動速度が手動操作と同程度以上になる	操船ワイヤーの張力、繰出量やアンカーの投锚位置座標に加え、風向風速、潮流の流向流速、潮位などを考慮し、船体の移動およびケーシングの位置を自動制御する技術が期待される。	自動時は同一のワイヤリングによる移動可能範囲内に限る。それ以上の移動・転船は揚船によるアンカー打ち替え作業が必要となる

- ▶ 次頁よりそれぞれのグループ毎に活動の結果を示す。
- ▶ 整理表をパソコンでご覧頂く場合は表示の拡大の機能を使用して、また、印刷する場合はA3サイズ以上で行うことを推奨します。

3.1 陸上工事用機械・・・ 13頁 より 20頁 まで

3.1.1 概要

3.1.2 概要資料

3.1.3 整理表

3.2 シールド工事用機械・・・ 21頁 より 32頁 まで

3.2.1 概要

3.2.2 概要資料

3.2.3 整理表

3.3 海洋工事用機械・・・ 33頁 より 54頁 まで

3.3.1 概要

3.3.2 概要資料

3.3.3 整理表

3.1.1 概要

3.1.1.1 対象とした陸上工事用機械

- 陸上工事グループでは陸上機械で一般的な建設機械を選定し、①ブルドーザ、②油圧ショベル、③不整地運搬車、ダンプトラック④振動ローラとした。

3.1.1.2 整理にあたっての基本的な考え方

- 大項目は上記に記載した建設機械とし、中項目は機械装置を使用し各動作を組み合わせて作業するという陸上機械の特性を考慮し、「作業・動作」で整理し、小項目は整理表が理解しやすいよう、「動作・装置」での整理とし、それぞれの自動化概要を記載した。また中項目の項目で現状自動化レベル、自動化のニーズ、目標自動化レベル、取組、必要・期待される要素技術で評価を行った。

3.1.1.3 整理結果の概要

(1) ブルドーザ

- 現状のレベルは掘削を伴う作業、リッパ作業はレベルは0とし、盛土、仕上げ作業の自動化はレベル2とした。目標のレベルは最適な走行経路を決定し、他の建設機械と連携して作業できるレベル3とした。

(2) 油圧ショベル

- 現状のレベルは掘削作業における掘削、旋回、放土・積込の一連の動作も可能であるが、あくまでもほぐし土に対してであって、固い地山相当の掘削はできていないためレベルは1とした。目標のレベルは地山相当の掘削を含め、施工計画をもとに一連の施工を自動で行えるレベル3とした。

(3) ダンプトラック、不整地運搬車

- 現状のレベルはプログラムに沿った自動走行による移動ができレベルは4としている。一方積込・積下し作業における完了検出などの他の建設機械との連携に関する部分はレベル1とした。目標のレベルはプログラムした作業計画に応じた運搬作業や他の建設機械との連携が可能なレベル3～4とした。

(4) 振動ローラ

- 現状のレベルは直線転圧走行時の操舵、レーン変更時の操舵など自動ステアリング制御を含む一連の転圧作業は可能でレベルは2とした。また自動化の方法には、汎用機械を改造する方法と、専用機を開発する方法がある。目標のレベルは機体位置や姿勢の計測技術、走行精度の向上、自動停止システムを付加した高効率施工を行うための検知と判断の自動化を行うものとし、レベル3とした。

3.1.2 概要資料

機械名：ブルドーザ

概要：クローラ型トラクタの前方にブレード（排土板）を装着し、掘削・運土・敷き均し・転圧などを行う機械である。



写真は、小松製作所製D85EXI-18【ICT建設機械等認定】
https://kcsj.komatsu/products/construction_machine/bulldozer_01/d85exi-18



機械名：油圧ショベル

概要：腕状の構造およびオペレータ側向きに取り付けられたショベル（バケット）等により掘削やダンプトラックや不整地運搬車への積込み等を行う機械である。



写真は、日立建機 XX225USR-7
<https://japan.hitachi-kenki.co.jp/products/new/medium-excavators/>

機械名：不整地運搬車

概要：ダンプトラックが入れない軟弱地、不整地において、土砂等を運搬する機械である。荷台を傾け、排出する機能があるものがある。



写真は、小松製作所製CD110R-3 全旋回式
https://kcsj.komatsu/products/construction_machine/crawler_carrier/cd110r-3

機械名：ダンプトラック

概要：荷台を傾けて積荷を下ろすための機械装置を備えたトラックである。土砂等を運搬するために用いられる。



写真は、小松製作所製HD325-8 リジッドフレーム式
https://kcsj.komatsu/products/construction_machine/dump_truck/hd325-8

機械名：振動ローラ

概要：地盤を締め固めるロードローラのうち、機械自重に加えて、鉄輪内部の起振装置で発生する起振力によって、締め固め効果を向上させる。



写真は、酒井重工業製SV514D
https://www.sakainet.co.jp/products/sv514_series.html

3.1.3 整理表

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
ブルドーザ	掘削押土作業	ブレード リフト (上げ/下げ)	1	・負荷(牽引力)が目標となるようブレード上げ/下げをコントロール	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの最適な施工ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要があるとともに、単体での自動化のみならず、複数台による連携や他建機との連携も含めた自動化が望まれる	3	・走行系を電気信号でコントロールすることはそれほどハードルが高い わけでは 無い(遠隔操作による技術の延長として対応可能)ので、レベル2は さほど困難ではないがレベル2はスキップして、下記①②を考慮した最適な動作としてレベル3を取り組むと考える。 ①最適な走行経路を決める技術 ②複数台による連携や他建機との 連携を考慮した技術 等がキーになると考 える。	①最適な走行経路を決める技術として ・AIによる動作計画 ・施工データベース ②自車以外との連携を考慮する技術として ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術	
		ブレード チルト		・偏荷重で進行方向が変わっても直進補正するようにブレードチルトをコントロール					
		前進・後進・停止 (制動)		・遠隔による操作(雲仙普賢岳での遠隔プル等)はあるが自動ではなくマニュアル操作					
		旋回(操向)		・遠隔による操作(雲仙普賢岳での遠隔プル等)はあるが自動ではなくマニュアル操作					
	盛土作業	ブレード リフト (上げ/下げ)	2	・負荷(牽引力)が目標となるようブレード上げ/下げをコントロール	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの最適な施工ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要があるとともに、単体での自動化のみならず、複数台による連携や他建機との連携も含めた自動化が望まれる	3	①最適な走行経路を決める技術 ②複数台による連携や他建機との連携を考慮した技術等がキーになると考 え、その技術を取り組んでいくと考える。	①最適な走行経路を決める技術として ・AIによる動作計画 ・施工データベース ②自車以外との連携を考慮する技術として ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術	・コマツ ICTブルドーザ https://kcsj.komatsu/ict/smartconstruction/lineup/buildozer ・大成建設「T-iCraft®」動画例 https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210209_5072.html
		ブレードチルト		・偏荷重で進行方向が変わっても直進補正するようにブレードチルトをコントロール					
		前進・後進・停止 (制動)		・ティーチングブレイバック方式も含めて、 走行経路を指定すればその経路に沿って旋回、走行する。					
		旋回(操向)							
	仕上げ作業	ブレードリフト (上げ/下げ)	2	・刃先の絶対高さ(対地高さ)が目標となるようブレード上げ/下げをコントロール	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの最適な施工ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要があるとともに、単体での自動化のみならず、複数台による連携や他建機との連携も含めた自動化が望まれる	3	①最適な走行経路を決める技術 ②複数台による連携や他建機との連携を考慮した技術等がキーになると考 え、その技術を取り組んでいくと考える。	①最適な走行経路を決める技術として ・AIによる動作計画 ・施工データベース ②自車以外との連携を考慮する技術として ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術	・鹿島建設「A4GSEL®」動画例 https://www.kajima.co.jp/tech/c_movies/index.html#15_sg1b_1
		ブレードチルト		・偏荷重で進行方向が変わっても直進補正するようにブレードチルトをコントロール					
		前進・後進・停止 (制動)		・ティーチングブレイバック方式も含めて、 走行経路を指定すればその経路に沿って、旋回、走行する。					
		旋回(操向)							
リッパ作業	リッパリフト	0	・マニュアル操作	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの最適な施工ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要がある。	3	①走行経路を決める技術、 ②自車以外との連携を考慮した技術に加え ③リッパポイント、 シャンクの下げ位置・チルト角を決める技術 が必要 で、 今後取り組むのではないかと考える。	①最適な走行経路を決める技術として ・AIによる動作計画 ・施工データベース ②自車以外との連携を考慮する技術として ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術 ③自動運転可能な建設機械 (リッパ作業対応)		
	リッパチルト		・マニュアル操作						
	前進・後進・停止 (制動)		・リッピング時 シュースリップがおこったら自動でエンジンのデクセルコントロール						
	旋回(操向)		・マニュアル操作						

3.1.3 整理表

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
油圧ショベル	掘削・積込	機体移動 (前進・後進・停止・操向)	1	・決められたルートを自動で走行して移動。 ・看板等の障害物を回避して移動。建機と人のセンサー等で警告、停止する建機もある。	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの作業ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要がある。 オペレータ並みの自動化するためには下記技術が必要である。 ①固い地山相当を自動で掘削 ②掘削箇所を自動で判断し移動 ③放土位置を自動で判断し、バケットをその位置に移動	3	まず、地山相当の土でも自動掘削が可能になる技術開発が取り組まれると考える。…《1》 その上で、施工計画データが入力されると、車輛移動、掘削、積み込み+放土の一連動作が自動でできるような技術開発…《2》及び、ダンブトラック等の他機械との連携も自動で行えるような技術開発が取り組まれると考える。…《3》 ※一連動作自動化 および 他機械との連携自動化は既に研究開発実施中。	《1》に対して ・油圧ショベルの掘削制御ロジック 《2》に対して ・AIによる動作計画 ・施工データベース 《3》に対して ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術 ・位置情報取得技術	・大林組 土砂の積み込み作業を自動化するバックホウ自律運転システムを開発 (2019年7月19日): プレスリリース NEC ・大成建設 協調運転制御システム「T-iCrafte」を開発し、施工現場のDXを推進 2020年度 大成建設株式会社 (taisei.co.jp)
		掘削		・バケットの軌跡が決められた動きとなるよう自動制御する研究がなされているが、ほぐされた土を掬うことはできても、固い地山を掘削するまでには至っていない。					
		旋回		・掘削もしくは放土開始点のバケット位置および経路の情報を検知し、その情報に合致した旋回方向、バケット高さ、バケット角度となるよう自動制御する研究がなされている。 ・建機と人との1対1のセンサー等で警告、停止する建機もある。					
		放土		・バケットが放土位置に到達したら、自動でバケットを返し放土する研究がなされている					
	整形作業	機体移動 (前進・後進・停止・操向)	1	・決められたルートを自動で走行して移動。 ・看板等の障害物を回避して移動。建機と人のセンサー等で警告、停止する建機もある。	建機オペレータの減少に伴い自動化するニーズがあり、オペレータ並みの作業ができる自動化レベルにまで技術を上げる必要がある。 オペレータ並みの自動化するためには下記技術が必要である。 ①固い地山相当を自動で掘削 ②整形箇所を自動で判断し移動 ③放土位置を自動で判断し、バケットをその位置に移動 ④与えられた地形の設計面となるよう自動でバケット掘削(様々な土質にも対応)	3	まず、地山相当の土でも自動掘削が可能になる技術開発が取り組まれると考える。…《1》 その上で、整形後の地形設計データが入力されると、車輛移動、掘削、積み込み+放土の一連動作が自動でできるような技術開発が取り組まれると考える。…《2》及び、他機械との連携も自動で行えるような技術開発が取り組まれると考える。…《3》 ※一連動作自動化 および 他機械との連携自動化は既に研究開発実施中。 溝掘削では、埋設管検知および回避して掘削する技術も取り組まれると考える。…《4》	《1》に対して ・油圧ショベルの掘削制御ロジック 《2》に対して ・AIによる動作計画 ・施工データベース ・i-コンストラクションとの連携技術 《3》に対して ・自動運転における安全基準 ・無線通信技術 ・位置情報取得技術 《4》に対して ・地中レーダー技術	・日立建機 自律型建設機械向けシステムプラットフォーム「ZCORE」を開発 - Hitachi Construction Machinery (hitachicom.com)
		掘削		・バケットの軌跡が決められた動きとなるよう自動制御する研究がなされているが、ほぐされた土を掬うことはできても、固い地山を掘削するまでには至っていない。					
		旋回		・掘削、放土、整形開始点のバケット位置および経路の情報を検知し、その情報に合致した旋回方向、バケット高さ、バケット角度となるよう自動制御する研究がなされている。 ・建機と人との1対1のセンサー等で警告、停止する建機もある。					
		放土		・バケットが放土位置に到達したら、自動でバケットを返し放土する研究がなされている					
		法面整形 ・切土法面整形 ・盛土法面整形		・スイッチを押すとバケット刃先もしくは底面が、設定された勾配で直線的に動く自動制御がおりこまれた建設機械もある。 《参考》ICTショベルでは操作自体はマニュアル操作だが、決められた掘削面より掘りすぎそうになる際、バケット刃先を自動領域制限するアシスト機能がある。					

3.1.3 整理表

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
ダンプトラック (ダンプトラック)	移動・運搬	機体移動 (前進、後進、停止等)	4	・設定された目的地まで決められたルートに沿って自動走行	労働者不足に伴い、自動化するニーズがある。また、災害現場等危険な区域での自動化のニーズがある。単体での自動化のみならず、複数台での自動化や掘削機械との連携が望まれる。	4	①プログラムした作業計画に応じた運搬作業が期待されている。 ②最適な積込場所・移動動作・積み下ろし動作を行えるシステムが期待されている。また、他の陸上工事用機械との連携も期待されている。	①に対して ・現場毎の条件を反映させた精密な運行管理 ・様々な現場に合わせたシステムの開発 ②に対して AI制御による運行管理、AI学習の蓄積、施工への反映	<ul style="list-style-type: none"> ・大型ダンプ自動運転実証実験 (大林組・日野自動車) https://www.hino.co.jp/corp/news/2024/20240227-003668.html ・無人ダンプトラック運行システム (AHS) (コマツ) https://www.komatsu.jp/ja/industries-we-support/mining ・ダンプトラック自律走行システム (AHS) (日立建機) https://www.hitachim.com/global/jp/businesses/solution/ahs/ ・A4CSEL (鹿島建設) https://www.kajima.co.jp/news/press/201701/11c1-1-j.html ・自動運転リジッドダンプ (T-iROBO Rigid Dump) (大成建設・コマツ) https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2024/240208_9892.html
	積込・積下し	停止 ダンプアップ 完了検知	1	<ul style="list-style-type: none"> ・指定された場所に停止 ・オペレーターの指示でダンプアップ ・完了検知はしていない ・オペレータの指示で走行開始 		3			
ダンプトラック (ダンプトラック)	移動・運搬	機体移動 (前進、後進、停止等)	4	・現場内の設定された目的地まで自動走行	労働者不足に伴い、自動化するニーズがある。また、災害現場等危険な区域での自動化のニーズがある。単体での自動化のみならず、複数台での自動化や掘削機械との連携が望まれる。	4	①プログラムした作業計画に応じた運搬作業が期待されている。 ②最適な積込場所・移動動作・積み下ろし動作を行えるシステムが期待されている。また、他の陸上工事用機械との連携も期待されている。	①に対して ・現場毎の条件を反映させた精密な運行管理 ・様々な現場に合わせたシステムの開発 ②に対して AI制御による運行管理、AI学習の蓄積、施工への反映	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転リジッドダンプ (T-iROBO Rigid Dump) (大成建設・コマツ) https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2024/240208_9892.html
	積込・積下し	停止 ダンプアップ 完了検知	4	<ul style="list-style-type: none"> ・指定された場所に停止 ・自動でダンプアップ ・積込完了を検知、自動で走行開始 		4			

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
不整地運搬車 (不整地運搬車)	移動・運搬	機体移動 (前進、後進、停止等)	4	<ul style="list-style-type: none"> ・設定された目的地まで決められたルートに沿って自動走行 ・教示運転に沿った自動走行 	労働者不足に伴い、自動化するニーズがある。また、災害現場等危険な区域での自動化のニーズがある。単体での自動化のみならず、複数台での自動化や掘削機械との連携が望まれる。	4	①プログラムした作業計画に応じた運搬作業が期待されている。 ②最適な積込場所・移動動作・積み下ろし動作を行えるシステムが期待されている。また、他の陸上工事用機械との連携も期待されている。	①に対して ・現場毎の条件を反映させた精密な運行管理 ・様々な現場に合わせたシステムの開発 ②に対して AI制御による運行管理、AI学習の蓄積、施工への反映	<ul style="list-style-type: none"> ・AI制御による不整地運搬車 (クローラキャリア) の自動走行 (熊谷組・SOINN) https://www.kumagaiumi.co.jp/news/2019/pr_20190404_1.html ・不整地運搬車の無人自動運転 (コマツ・ZMP) https://www.zmp.co.jp/news/pressrelease_20181016 ・自動運転クローラダンプ (T-iROBO Crawler Carrier) (大成建設、諸岡) https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2019/191127_4826.html
	積込・積下し	停止 ダンプアップ 完了検知	1	<ul style="list-style-type: none"> ・指定された場所に停止 ・オペレーターの指示でダンプアップ ・完了検知はしていない ・オペレータの指示で移動開始。 		3			

3.1.3 整理表

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
振動ローラ	走行	1. 自動ステアリング制御 ① 直進転圧走行時のステアリング ② 隣接レーンへの切返し走行時のステアリング ③ 複数ローラのリアルタイム測定と同期制御	1-1. 汎用機械の改造式(専用の自動機械ではなく、汎用機械に所要機器を後付けして、自律型の自動機械に改造) ①-1 熟練オペレータの実運転時の計測データを基本とし、AI手法等も導入して建機の自動運転を実現 ①-2 直進転圧走行: 数m先の“予測位置(x, y, z)”と機体姿勢(ロール、ピッチ、方位)での“予測走行誤差”を用いたステアリング制御(水平精度±100mm)。後進時も直進転圧走行と同様。 ①-3 機体位置と姿勢の測定センサと精度: (a)位置:RTK-GPS(水平精度±3cm)、(b)機体のロールとピッチ:ジャイロ(精度:2°rms)、(c)方位:GPS方位計精度(0.3°)、(d)操舵角:前輪ローラとキャブの相対角度。 ①-4 ティーチングによる走行経路の事前設定: (a)施工エリア、(b)現工区と次工区間の走行経路を含む。 ② 切返し走行: 目標軌道を一定距離に離散する点群座標で設定。“現在位置”から最短距離にある目標点、その前方の目標点を“予測位置”として、現在位置と予測位置との誤差に応じてステアリング角度を決定。許容誤差:±100～150mm(ダム施工では隣接転圧レーンとの規定ラップ幅は200～300mm)。 ③-1 自動運転中のローラは自己作業エリアと相互干渉エリアを持ち、干渉エリアでは対象ローラとの進入優先度をルール付けて接触しない運転制御。 ③-2 ダムの実現場で自動ダンプトラック3台、自動ブルドーザ2台、自動ローラ2台(合計7台)による連続5時間作業の実証試験済。	(1) 人手不足・熟練労働者不足への対応 (2) 建設生産性の向上 (3) 労働災害の撲滅＝安全性の向上 (4) 安定した施工(締固め)品質 (5) 現場の工場化	3	1-1. 汎用機械の改造式 ①と②共通 1) 材料毎に鉄製の振動輪との接地条件が異なる場合でも、事前入力された計画走行経路への追従性の向上。例: コンクリートダムの均一材料やロックフィルダムのコア材やフィルタ材及びロック材。 2) 熟練オペレータの運転操作データを参照し操縦制御方法の継続的な改良 3) 材料特性の影響を受けにくい運転操作の実現。	1. 汎用機械の改造式 ① 安価で高性能な自動機械の提供(建機メーカーに依存)。 ② 振動ローラのみならず、盛土の締固めに必要な関連自動機械(バックホウ、ダンプ、ブルドーザ等)の並行開発。 ③ 建機の使用条件に対応可能な耐久性、耐振性、耐候性等に優れたセンサおよび電子機器類の開発	(1) 鹿島建設(A4CSEL): https://www.kajima.co.jp/tech/c_dam/inherent/index.html#tbody_01 (2) 鹿島建設:成瀬ダムでのA4CSEL適用情報: https://www.narusedam.jp/tech/tech02/ (3) 建設機械の自動化を核とした次世代建設生産システム(前・後編)、三浦、ダム日本、2019.7 (4) 大成建設: https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2020/20022_4965.html (5) 大林組、新丸山ダム建設工事における盛土工事で「統合施工管理システム」の実証施工に成功。 https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20240411_2.html https://youtu.be/CF-hLZJKdN1?si=GDs8FBABkLm59fP5 (6) 安藤ハザマ、自動運転システムと新しい品質管理手法を組み合わせた施工を実現 https://www.ad-hzm.co.jp/info/2019/20190424.php	
			1-2. 自律化専用機 ① 直線の走行経路の事前生成と自動追従性: 1) 工区寸法を基に、縦(y)方向の走行距離、ロール幅および隣接レーンとのオーバーラップ幅を考慮して、横(x)方向のレーン数の自動計算 2) 手動・自律・遠隔操縦の選択式(使い方に柔軟に対応) 3) 機体位置と姿勢の測定センサと精度: (a)位置:2周波RTK-GNSS(水平精度±3cm)、(b)振動輪のロールとピッチ:未測定、(c)GNSS方位計(精度:約0.3°)、(d)操舵角: シリンダストロークセンサ(内蔵式)によるステアリング角度計算。 ② 隣接レーンへの切返し操縦: 1) 切返しエリアでの自動ステアリングプログラムとステアリングシリンダの制御 2) 自動ステアリング操作時の考慮: (a)シリンダ速度(伸縮)、(b)車速、(c)縦横の移動距離 ①と②共通: 1) 自律走行と一般オペレータとの比較試験例(工区:長30m x 幅10m、5レーン、オーバーラップ幅:20cm、各レーン6回転圧): (a)目標経路に対する誤差:自律走行:最大:21cm、ばらつき:7cm、(b)一般オペレータ操作:最大:78cm、ばらつき:39cm。 ③ 未着手	1-2. 自律化専用機 ①と②共通 1) 生成走行経路と実際経路との更なる誤差改善:最大(目標):±10cm。 2) 上記の改造式とは逆に、熟練オペレータの走行軌跡を参考に、作業効率を同等以上にする制御プログラムの改良 3) ステアリング角度の測定精度の改善 ③ 複数ローラの位置情報のリアルタイム測定と協調制御。 1) 複数ローラ用に事前プログラムされた各走行経路と走行開始タイミングに応じた自律制御 2) 先行および後継ローラにより全工区に均一な(静的・動的)締固めエネルギーを与える走行経路の自動生成。 3) 施工工区(最適含水比以下の土壌条件):振動による動的締固めエネルギーを与える。折返しエリアでは振動切り、所要転圧回数から除く。	1-2. 自律化専用機 ①と②共通 1) 建機の使用条件に対応可能な耐久性、耐振性、耐候性等(MIL規格等)に優れたセンサおよび電子機器類の開発 2) GNSSを使えない現場(トンネル)でのローラ位置情報の測定および推定技術(3D-Lidar等)	(7) 熊谷組、熊谷組と酒井重工業、JIG-SAW、自律走行式振動ローラを活用した実証実験を実施。 https://www.kumagaijumi.co.jp/news/2021/jig-saw.html (8) 酒井重工業: https://youtu.be/1s5AF8v2xuU?si=GPa5gMOPqTNS0CBR (9) 大町、志賀、飛鳥馬: 転圧作業における自律走行式振動ローラとの有効性検証。土木学会報文、2023。 (10) 竹下、天下井、棚田、志賀: 転圧作業における自律走行式振動ローラの有効性検証。土木学会報文、2023。 (11) 日立建機: 土工用振動ローラ自律転圧システムの開発。 https://www.hitachi.com/global/ja/innovations/innovations03/ (12) 「振動ローラ自律運転システム」のデモンストラーションを宮坂建設工業の現場で実施。 https://www.hitachi.com/global/ja/news/topics/2022/22-11-10/			

3.1.3 整理表

大項目 【陸上機械種】	中項目 【作業】	小項目 【動作・装置】	現状自動化 レベル 0～5	自動化概要	自動化のニーズ	目標自動化 レベル 0～5	取組み	必要・期待される 要素技術	備考 参考URL
振動ローラー	走行	2. 衝突被害軽減ブレーキ(自動ブレーキ/ブレーキアシスト)	2	<p>2. 衝突被害軽減ブレーキ(自動ブレーキ/ブレーキアシスト)</p> <p>① 作業員や重機等(障害物)の検知センサ</p> <p>1) レーザスカナ: 障害物、法尻、法肩の検知。</p> <p>2) 3D/2D-Lidar: 検知幅の正確な設定可能、濃い土埃や湯気を誤検知するリスクあり。</p> <p>3) ミリ波レーダ: 土埃や湯気の影響を受けないが、検知幅の精度は3D-Lidarより劣る。</p> <p>4) AIカメラ: 作業員(人間)に検知を特化。</p> <p>5) 3Dステレオカメラ</p> <p>6) 超音波: 安価入手性良好、精度低い。</p> <p>7) 赤外線距離画像センサ。</p> <p>② 制動時のローラと障害物(作業員や重機)との距離</p> <p>1) 3m以内。</p> <p>2) 車速と障害物との距離に応じて制動タイミングを自動調整。</p> <p>③ 復帰機能:</p> <p>1) 自動解除: 検知停止後、画像から障害物が消えて数秒後に自動運転モードに復帰。</p> <p>2) 手動解除: (a)前後進レバーを中立へ戻す、(b)駐車ブレーキ解除。</p>	(1) 現場作業における生産性の向上 (2) 重機運転者の安全運転支援(見落とし、ヒヤリ、ハット) (3) 重機の周辺作業者の安全性向上	3	<p>2. 衝突被害軽減ブレーキ(自動ブレーキ/ブレーキアシスト)</p> <p>(1) 単独センサから複数センサの複合判定による検知精度の向上。</p> <p>(2) 先に検知したセンサ情報に基づいて車両を自動停止。</p> <p>(3) AIカメラのさらなる活用(作業員の検知精度向上に伴う)</p> <p>(4) 検知センサの低コスト化と入手性の向上。</p>	<p>2. 自動停止: /ブレーキアシスト</p> <p>(1) 建機の使用条件に対応可能な耐久性、耐振性、耐候性等(MIL/米国規格等)に優れたセンサおよび電子機器類の開発</p>	<p>(1) 振動ローラ自動転圧システムの開発とダム工事への適用。大塚他、土木学会第71回年次学術講演会平成28年9月。</p> <p>(2) 大成建設: T-iROBO Roller、締固め度管理の自動化技術「T-iCompaction」の開発、後藤他。</p> <p>(3) 酒井重工業: 緊急ブレーキ(Guardman): https://youtu.be/8dE87E_Aeck?si=AmdvJHBHJRVfDd2n</p> <p>(4) 日立建機: 衝突被害軽減アシスト装置: https://www.hitachi.com/global/ja/news/press-releases/2022/22-08-03/</p>
	転圧	3. 締固め 3-1. 締固め管理と測定方法(車載式) 3-2. 締固め自動制御	2	<p>3-1. 締固め管理と測定方法(車載式)</p> <p>①-1) 回数管理(単独の振動ローラ): GNSSによるローラ(振動輪)軌跡の連続的リアルタイム測定と転圧回数管理システム。</p> <p>①-2) 回数管理(複数の振動ローラ): 複数の振動ローラの転圧情報をリアルタイムに共有し、所要の総合転圧回数を維持管理。</p> <p>② 加速度応答法(CCV、α-Sys、CMV等)による地盤剛性値および振動輪の位置情報(GNSS)とのリンクによるマッピング表示とデータの記録管理。</p> <p>③ 転圧型R1密度水分計</p> <p>1) 振動ローラ前後輪の中間に搭載し、測定時には地面に水分計を接触させて計測。</p> <p>2) 実験例: 20m×21m(面積420m²)の施工区で、約25分間で、測定箇所は従来(人力)の41に対し140で35倍。</p>	(1) 締固め作業の生産性向上 (2) 締固め品質の向上	3	<p>3-1. 締固め管理と測定方法(車載式)</p> <p>①現場の工事事務所や発注者事務所のPCによる管理方法に加え、現場立会中の発注者や工事監督者達にもスマホ等で情報共有可能なシステム開発</p> <p>② 米国FHWA(連邦高速道路庁)のインテリジェント・コンストラクション(IC)プロジェクトで無料配信されるようなマッピングおよび締固め分析用のソフトウェア(Veda)開発(メーカー毎に異なるデータフォーマットにも対応可能で、工事請負業者や発注者側にもメリット)</p> <p>③ 走行中、非接触で締固め密度および含水比を測定可能な計器開発</p>	<p>3-1. 締固め管理と測定方法(車載式)</p> <p>① 測定データの改ざん防止対策</p> <p>② 収集データをクラウドサーバ(CS)に直接送信する場合、発注者が直接SGにアクセスして閲覧やダウンロードできるシステム(左記のIC用Vedaを参照)</p> <p>③ GPR(Ground Penetration Radar)等の応用研究</p>	<p>(1) 鹿島建設(A4CSSEL): https://www.kajima.co.jp/tech/c_dam/it_tech/index.html#body_03</p> <p>(2) https://www.intelligentconstruction.com/vet/</p> <p>(3) 大成建設、ソイルアンドロック他、土の締固め施工における非破壊連続計測、転圧型R1密度水分計の利用</p> <p>(4) GPR(応用地質): https://www.ovo.co.jp/exhibition-ovo-fair-2022/online-exhibition/05_37n.html</p> <p>(5) GPR(ジオファイブ): https://www.geo5.co.jp/cat_geology/cat_geology_sub1_sub3/souju/5458</p>
			3-2. 締固め自動制御		<p>3-2. 締固め自動制御</p> <p>④ 締固め状態(地盤剛性値)に応じた振動パラメータの自動制御</p> <p>1) 振動加速度応答値に基づいて振動起振力ベクトル方向を自動調整。例えば、VARIOCONTROLの商品名で製品化。</p> <p>2) 振動輪の振動周波数を地盤の共振振動数と合わせる自動制御: SEISMIC Compaction Meterの商品名で製品化。振動周波数を0.2秒毎に油圧制御。</p> <p>3) 地盤剛性をGNSS測位による位置情報とリンクさせ、マッピング表示と記録。</p> <p>4) 地盤剛性が低い場所のみ車輪を振動させて、効率的に締め固めるため、時間と燃料の節約、作業効率の向上。</p>			<p>3-2. 締固め自動制御</p> <p>④ 締固め状態に応じた振動パラメータの自動制御</p> <p>1) 検知後の自動調整の高速化。例えば、左記の0.2秒毎で制御しても、作業速度 3.6 km/h(1.00m/sec)の場合、0.2秒間に0.2m走行。すなわち検知位置から振動輪の制御/バルブを始動させる迄の時間差、さらに調整された振動力が地盤に作用する迄の時間遅れによる地盤擾乱は無視できない。</p> <p>2) 地盤の共振振動数の測定後の振動制御の高速化、測定から制御後の効果が地盤に与えられる迄の時間差の影響。</p>	<p>3-2. 締固め自動制御</p> <p>① リアルタイム制御というが検知から油圧アクチュエータ等を動作して実行する迄の応答遅れは避けられないので、改善策が必要。</p>

3.2.1 概要

3.2.1.1 シールド工事用機械について

- ①土圧式シールド、②泥水式シールドを主要対象とし、この二つの方式に共通する付帯設備を抽出して③付帯設備とした。

3.2.1.2 整理にあたっての基本的な考え方

- 大項目については、上記に記載した土圧式シールド、泥水式シールド、付帯設備とした。中項目は大項目で対象とした機械に関して構成する作業(動作)で整理し、小項目はその作業を行う機械、装置での整理とした。整理表はその小項目毎にトップランナーの技術、装置を抽出し、その評価を行った。

3.2.1.3 整理結果の概要

(1)土圧式シールド

- 土圧式シールドの大半を占める泥土圧シールドでは、チャンバー内を泥土化した掘削土で充満させ、切羽において圧力を保持し安定性を維持するように、掘削土の塑性流動性と止水性を確保することが重要である。
- ◆ 切羽土圧制御の現状レベルはオペレーターの判断となっていることからレベル0~1とした。チャンバー内塑性流動性把握の現状レベルは、チャンバー内泥土性状の把握まではできているのでレベル2とした。目標レベルは、チャンバー内泥土性状の把握から、掘進速度・スクリーコンベヤー・ゲート開閉の自動化、添加材注入量自動化とし目標レベル3とした。

- ◆掘削土運搬装置の現状レベルは、バッテリー機関車等部分的に一連の自動化が出来ているのでレベル2とした。
目標レベルは、発進停止、異常停止後の復帰などの判断が出来る技術としレベル3とした。
 - ◆掘削土量管理の現状レベルは、計測作業単体としてはレーザースキャナーなどを使用した自動計測となっている
目標レベルは掘進制御に利用できるレベルの精度向上としレベル2とした。
- (2)泥水式シールド
- 泥水式シールドでは、適切な泥水圧の作用により切羽を保持するため、比重や粘性等の泥水品質を確保して十分な不透水性の泥膜の形成に努めることが重要である。
- ◆切羽水圧制御の現状レベルは、送泥ポンプ制御の自動化ができておりレベル2、泥水品質制御は比重のみでありレベル1とした。
目標レベルは、さらに泥水の粘性、降伏値、濾過特性の自動把握、及び最適な泥水品質の自動制御と送排泥ポンプ回転数、掘進速度が連動し自動化技術としレベル3とした。
 - ◆掘削土搬送装置の現状レベルは、排出側も切羽水圧に応じて同調制御しておりレベル2とした。
目標レベルは、緊急時・異常時の自動対応としレベル3とした。
 - ◆掘削土処理設備の現状レベルは、一～三次処理設備単体としての定常運転は自動化されているのでレベル1とした。
目標レベルは、現状で高度化のニーズが少ないが掘削対象土砂、余剰泥水の変化に追従するような高度化技術としレベル2とした。

(3) 付帯設備

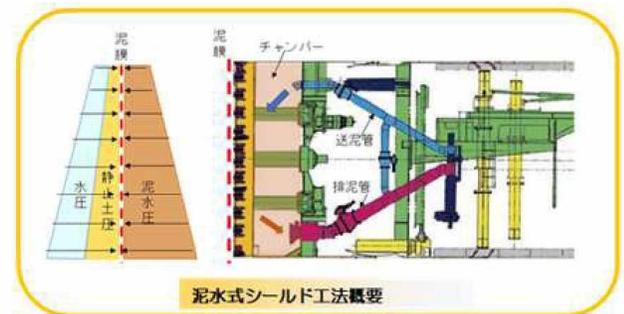
- ◆ 掘進制御の現状レベルは、推力・カッタートルク制御に関して自動化された例は少なくそれぞれ1、0とした。方向制御の現状レベルは、シールド機の位置計測およびテールクリアランス計測、方向制御のためのジャッキ制御はAIなどの活用により自動化されており、レベル2とした。目標レベルは、測量作業自体の自動化、多様な地質、土水圧、線形における掘進データを取得し、AIの精度向上と自動判定できる技術としレベル3とした。
- ◆ セグメント供給装置、セグメント組立の現状レベルは、セグメントの荷受けから切羽先端組立位置までの搬送は一部人を介しての自動化、セグメント組立も人を介した中での半自動化まで行われておりレベル2とした。目標レベルは、搬送の全自動、エレクターの自動化(手動組立と同等以上の操作精度)、及び条件が変わった時(セグメントの変形モードに応じたセグメント組立など)に自動で判断する制御としレベル3とした。
- ◆ 裏込め注入装置の現状レベルは、材料の自動混練り装置、掘進速度に応じた自動注入はできておりレベル2とした。目標レベルは、注入圧上限設定などの人間の判断に委ねられる部分の掘進と連動したAI制御や、スマートフォンアプリによる一元管理などとしレベル3とした。

泥水式シールド工法

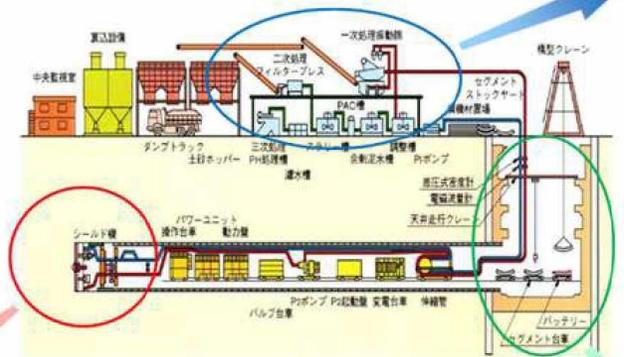


泥水式シールド 出典「JMIT HP」

泥水式シールドは、チャンバー内に泥水を送り、切羽に作用する土水圧よりやや高めの泥水圧をかけて切羽の安定を図るもので、泥水の浸透による安定効果もあり、水圧の高いところでの使用に適している。排泥は配管による流体輸送であり、掘削状況に応じて切羽水圧を制御できる機能を有しているため、切羽の安定を図り、周辺地盤への影響を少なくすることが可能である。



泥水式シールド工法概要



泥水処理設備



一次処理（振動ふるい） 出典「三井HP」



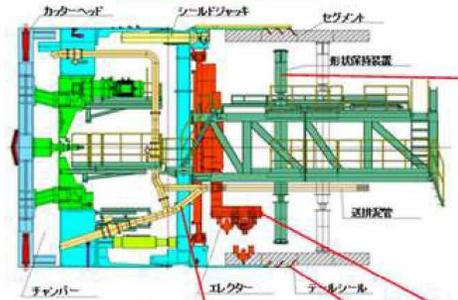
二次処理（フィルタープレス）



泥水水槽



シールド機



泥水配管



形状保持装置（共通）



エレクター、テールシール（共通）

搬送設備



坑内搬送設備（タイヤ方式）

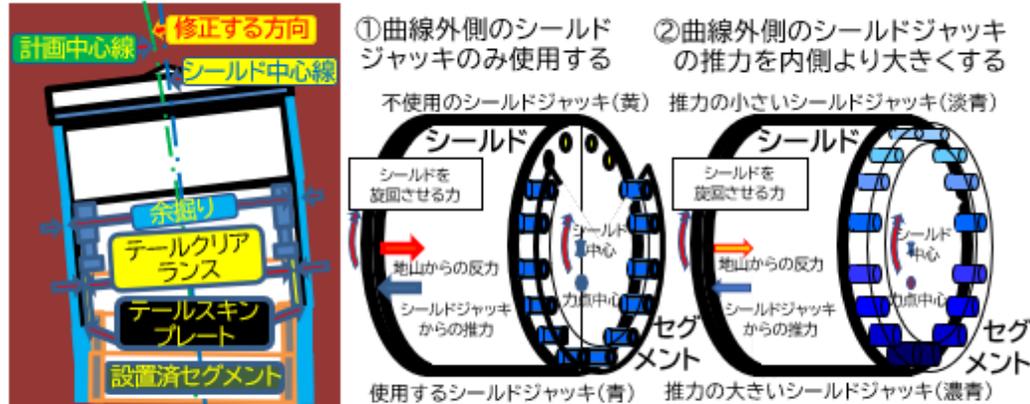


坑内搬送設備（軌道方式）



立坑搬送設備（リフト式） 出典「カシマメカトロ」

掘進制御(方向制御)



シールドの方向制御は、実際の掘進方向を計画中心線に整合させつつ、掘削した地山とシールドの外側、シールドの内面と設置済セグメントとの間に、競りが生じないようにシールドの方向を制御して掘進するように計画する。

シールドの実際の方向制御の方法は、A)中折れジャッキを使用する場合に曲線外側の中折れジャッキを内側より長くする方法、または、B)シールドジャッキがシールドを地山に押し付ける時の力点を曲線方向の外側に寄せる方法、がある。
B)の力点を外側に寄せる方法としては下記の①②の2通りの方法がある。
① 曲線外側のシールドジャッキのみ使用する
② 曲線外側のシールドジャッキの推力を内側より大きくする

土量管理

トンネル坑内のベルトコンベヤー又は鋼車の頭上にレーザー scanner を設置し、輸送・運搬される土砂の断面を高速に連続スキャンングすることにより、土砂の見かけの体積を連続的に計測する。



出典:株演算工房HPより

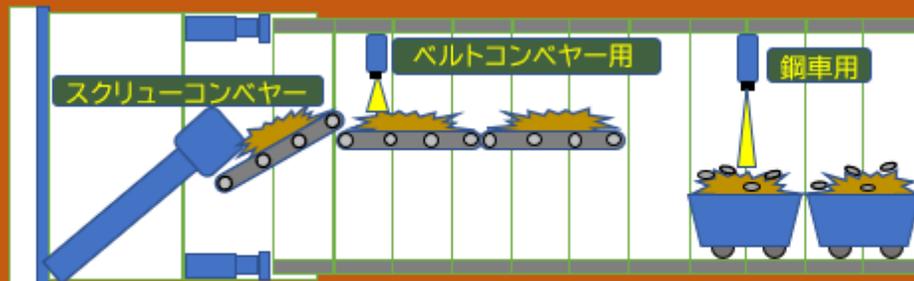


図:株演算工房HPをもとに作成

シールドの位置姿勢自動計測

シールドの位置姿勢の自動計測は、シールド内に設置した複数点のプリズムターゲットを、自動追尾可能なトータルステーション等により自動測量し、ソフト上でシールドの絶対座標・方向角、仰角等を計算する、などの方法で行われている。



出典:株演算工房HPより



図:協立電機HPをもとに作成

テールクリアランス計測

テールクリアランスとは、シールドのテール部における、スキンプレートの内側とセグメントの外側との隙間であり、その計測は人力測定の外、カメラ画像の解析等による自動計測が行われている。



出典:株演算工房HPより

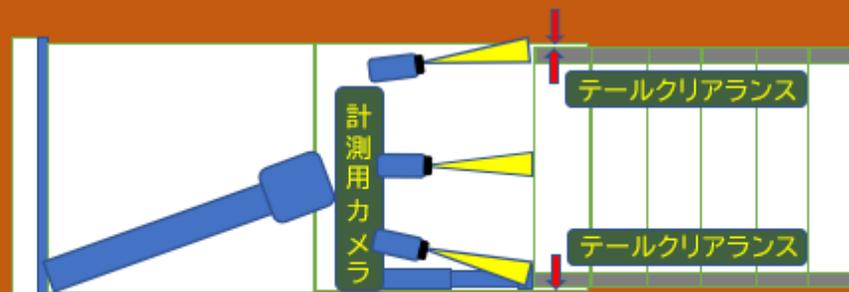


図:株演算工房HPをもとに作成

3.2.3 整理表

大項目	中項目	小項目	現状の自動化レベル	自動化概要	自動化のニーズ	自動化レベルの現実的な目標	今後の期待される取組み	必要・期待される要素技術	備考		
		動作の詳細/装置									
土圧式シールド	切羽土圧制御	スクリューコンベヤー	1	JIMテクノロジー、UGITEC 切羽土圧の変動に合わせてスクリューコンベヤーの出力を調整し、切羽土圧が一定になるように自動制御 <土圧制御AIモデル> 清水建設 掘進指示書に記載された指示土圧と制御土圧（チャンパー内土圧の代表値）の差が小さくなるようなスクリューコンベヤー回転数の予測値を表示。 （カッタートルクや推進速度、総推力などのスクリューコンベヤーの操作と関連のあるデータを抽出し、教師データとした）	切羽土圧制御の自動化に向けてスクリューコンベヤーの自動化は不可欠。オペレータと同等以上の操作精度が必要	3	—	スクリューコンベヤー回転数、掘進速度、ゲート開閉が連動した自動化技術	左記、動作を連動させるソフト	アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第29回技術研究発表会2017.11（清水建設） https://www.uit.gr.jp/members/thesis/pdf/honb/552/552.pdf	
		ゲート開閉	0	現時点でのゲート開閉は押しボタンによる遠隔操作のため、非自動化	切羽土圧制御の自動化に向けてゲート開閉の自動化は不可欠。条件が変わった時（噴発時など）に自動で判断する制御も必要	3	—	塑性流動性（噴発状態等）に応じたゲート開閉の自動化			
	チャンパー内塑性流動管理	塑性流動性計測	2	チャンパー内の隔壁に設置したフラッパーの回転トルク計測値を用いてチャンパー内の土砂を3次元流体解析することで、リアルタイムに土砂の流動状態を把握するシステム チャンパー内土圧の変動状況が泥土の塑性流動状態と関連することを利用し、数値解析によりチャンパー内塑性流動性を可視化するシステム 掘削地盤の推定に必要な土の切削抵抗（歪ビット）と塑性流動性の推定に必要な土の攪拌抵抗（ピン型ロードセル）を独立して計測し、可視化する技術 曲げセンサーと色相彩度で土砂の流動状態を可視化で土砂の噴発や閉塞を発生させない技術	適切な切羽土圧の設定と塑性流動性の確保にはチャンパー内土砂の塑性流動状況をリアルタイムに把握する必要がある	3	—	添加材の注入ポートの選択や注入ポンプとの連携による自動注入	・地山土質変化の検知技術 ・添加材濃度・注入率、注入ポートの自動変更技術 ・AI制御のためのデータベース構築	清水建設「チャンパー内塑性流動性可視化システム」 http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00047/2015/25-02-06.pdf 鹿島建設「シールド工事における切羽前面の可視化技術の開発」 http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2016/71-06/71-06-0829.pdf フジタ「チャンパー内見える化技術」： https://www.fujita.co.jp/wp/wp-content/uploads/2016/01/56c3271d64c0bb2e09b3307e1e7b724b.pdf	
			添加材混練り	2	添加材の配合設定値にて、計量・混練り・貯留を自動で実施している	塑性流動性計測に基づき自動化が期待される	2	—	塑性流動性計測に基づく、添加材濃度などの配合設定の自動変更	AI制御のためのデータベース構築	タック「添加材注入設備」： http://www.tac-co.com/business/additive/equipment/
			注入用ポンプ	1	掘削断面、注入率の設定で、掘進速度に応じた自動注入を実施している		3	—	塑性流動性計測に基づく、添加材注入ポート選択や注入率の自動変更	AI制御のためのデータベース構築	
	掘削土運搬装置	バッテリー機関車（軌道方式）	2	エリア分けした範囲内での停止・走行速度調整・障害物検知停止	運搬前後の設備との自動連係および異常検出時の自動復旧	3	—	発進時の判断、ずり積込み・排出時の動作、非常停止後の再発進	・発進時の安全確認技術 ・ずり放出時の状況確認技術、空の確認技術	新トモエ電機「無線方式資機材坑内自動搬送システム」	
		内燃機関タイヤ式（MSV）	2	エリア分けした範囲内で速度等条件付き操舵・走行速度調整・障害物検知停止	運搬前後の設備との自動連係および異常検出時の自動復旧、速度条件の拡大	3	—	発進・停止・操舵・加減速、非常停止を設定条件の元で自動運転		TMS社 MSV Automatic Guiding in the back up	
		ポンプ圧送方式	2	土圧によるポンプ流量の制御、起動・停止はシールド機及び土砂受け入れ設備（ホッパー等）に追従	多様な地質に応じた閉塞防止制御	3	—	掘削土の性状を検出し最適なポンプ運転制御	掘削土の性状検知技術と判断技術	アクティオHP https://www.aktio.co.jp/products/worktype/3/	
		連続ベルトコンベヤー	2	起動・停止はシールド機に追従 ベルト損傷検出 異常検出（電流・張力）	搬送量の自動変更 運用作業の軽減	3	—	速度調整、延伸作業	適切な速度に調整するソフト ベルトの切断・心出し・溶着を自動で行う技術、ベルトの張力を自動調整する技術	タグチ工業「ベルトスカナ」 「CBCマネージャ」	
		垂直コンベヤー	1	起動・停止は土砂投入設備及び排出設備と連動	搬送量の自動変更	3	—	速度調整	適切な速度に調整するソフト	「自動垂直運搬システム APTS」（ヒロサワ機械） 「土砂・汚泥運搬機器 スキップハリヤー（アクティオ） スネークベルコン（鹿島、日本コンベア）	
	掘削土量管理	レーザースカナ	1	レーザースカナによるBC上の土量計測		2	—			「レーザースカナ式土量計測システム」（演算工房）	
		ベルトスケール	1	ベルトスケールによるBC上の土量計測	データを掘進制御に利用	2	—	精度向上への取り組み 山量の推定	・精度、速度の向上 ・添加材の影響評価技術	「自動キャリブレーション機能付土量管理システム」（清水建設）	
鋼車ロードセル		1	鋼車に設置したロードセルによる重量計測		2	—					
泥土処理設備	破碎装置	1	過負荷による自動停止		2	—	—	—	アクティオHP https://www.aktio.co.jp/products/worktype/3/		
	改質剤投入・混練り装置	1	排土量に応じた添加量制御と混練り装置制御		2	—	—	—	「泥土固化処理装置GEO-TOM-1000」（ヒロサワ機械） 「土質改質システム」（小野田ケミコ）		

3.2.3 整理表

大項目	中項目	小項目	現状の自動化レベル	自動化概要	自動化のニーズ	自動化レベルの現実的な目標	今後の期待される取組み		必要・期待される要素技術	備考 現状および今後の取組みの参考 補足説明となるURLの記載
		動作の詳細/装置								
泥水式 シールド	切羽水圧制御	送泥ポンプ	2	<p><流体輸送設備> アクティオ 流体輸送設備のうち地上に設置される送泥ポンプの回転数を自動制御（排泥ポンプの回転数も自動制御）することで、切羽水圧を一定に保持</p>	切羽水圧制御の自動化に向けて送泥ポンプの自動化は不可欠。条件が変わった時（バイパス切替時など）に自動で判断する制御も必要	3	バイパス切替、非常停止・復旧の自動化 土砂搬送の自動化の取組みと連動	-	送排泥ポンプ回転数、掘進速度、泥水品質制御が連動した自動化技術。	<p>アクティオエンジニアリング事業部HP (1975) https://www.eg.aktio.co.jp/07tunnel/g02-ryutaiyusou/%e6%b5%81%e4%bd%93%e8%bc%b8%e9%80%81%e8%a8%ad%e5%82%99/</p>
			<p><エアリザーバー> 大林組 排泥管の閉塞などに起因する切羽水圧の急激な変化に対し、シールド機チャンバー内にエアリザーバー（空気の圧力吸引容器）を取付けることで、圧力の変動を緩和</p>	<p>大林組HP 2001.12 https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20011211_2.html</p>						
		泥水品質制御	1	<p>流体輸送設備により各水槽の水位や泥水比重を常時モニタリング。中央監視室から自動作液プラントを遠隔で運転および管理して貯泥槽にストック しかし、泥水品質（比重、粘性、降伏値、濾過特性など）のうち、自動計測しているのは比重のみであり、その他の項目は調整槽からサンプルを採取して人為的な品質試験で測定。各水槽間の泥水の移送は人の判断と行動による</p>	切羽水圧制御の自動化に向けて泥水品質制御の自動化は不可欠。条件が変わった時（泥水性状に応じた泥水移送など）に自動で判断する制御も必要		粘性や降伏値の自動計測技術の開発とその結果に応じた各水槽間の泥水移送の自動化技術	左記、動作を連動させるソフト	<p>鴻池組技術研究報告 2008 https://www.konoike.co.jp/solution/theses/pdf/2008_civil_03.pdf</p>	
	掘削土運搬装置	流体輸送設備	2	切羽水圧・排泥流量・循環流量の制御	緊急時・異常時の対応	3	緊急時、異常時の検出技術		検出ソフト	<p>アクティオHP https://www.aktio.co.jp/products/worktype/3/</p>
	掘削土量管理	密度計・流量計	1	密度計、流量計による計測	データを掘進制御に利用	2	地山量の推定		地山量を推定するソフト	<p>アクティオHP https://www.aktio.co.jp/products/worktype/3/</p>
	処理設備	一次処理設備	1	振動ふるいと湿式サイクロンの組合せが一般的で、湿式サイクロンの微調整以外は自動運転されている	現状の自動化レベルに必要な機能を果たしている	2	ふるい網の水洗い、交換などのメンテナンスの迅速化、自動化		ふるい網洗浄、交換の自動化技術	<p>三央「土砂脱水機」 https://www.san-oh.co.jp/product/109.html</p>
		二次処理設備	1	余剰泥水処理を自動化したフィルタープレスで実施している。脱水ケーキ剥離（開弁）や汚布洗浄も自動化されている機種もある	脱水ケーキの適正な含水比による量の削減が期待される	2	掘削土質、余剰泥水の変化に対応した二次処理剤の添加量・濃度の自動化		システムの操作性向上技術	<p>ヒロサワ機械「フィルタープレス」： http://www.hirosawakikai.co.jp/engineering/engineering-filterpress.html</p> <p>タック「泥水二次処理剤自動添加システム」 http://www.tac-co.com/company/technical_information/</p>
			1	余剰泥水処理を自動化した遠心分離機で実施している		2				<p>鴻池組「泥水クローズドシステム」： https://www.konoike.co.jp/solution/detail/002337.html?tab=use&slug=facility_rail</p>
		三次処理設備	1	放流水のpH中和装置、濁度調整装置で構成され、薬剤補給以外は自動化されている	現状の自動化レベルに必要な機能を果たしている	2	-		-	<p>三央「濁水処理システム」 https://www.san-oh.co.jp/business/civil-engineering/turbid-water/turbid-watertreatment-system.html</p>

3.2.3 整理表

大項目	中項目	小項目	現状の自動化レベル	自動化概要	自動化のニーズ	自動化レベルの現実的な目標	今後の期待される取組み	必要・期待される要素技術	備考 現状および今後の取組みの参考 補足説明となるURLの記載		
		動作の詳細/装置									
付帯設備 (共通)	掘進制御	推力制御	1	機械学習したAIによる切羽前面圧、カッタートルク、掘進速度を導出するシステム	・掘削土量の最適化、裏込め注入の自動化・連動 ・選定した掘進速度に応じた送排泥、スクリーコンベヤー等の制御の自動化	2	・多様な状況に関する掘進データの取得、掘削土量の最適化、および、裏込め注入の自動化・連動	①掘進速度からの送排泥量の算出 ②設定した掘進速度に応じたスクリーコンベヤー・圧送設備の連動	戸田建設「AI Transformシールド」： https://www.toda.co.jp/assets/pdf/20200331.pdf		
		カッタートルク制御	0	外周部と内周部に分けて別々に回転させる二重カッター	・機械学習したAIの提示によるカッタートルク制御	2	・地山種別・強度別の掘進速度とカッタートルクの関係に基づくカッターヘッドの回転速度の自動制御	掘進データの機械学習による蓄積	大林組「省エネシールド」： https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/detail/tech_d138.html		
	機械学習したAIの算出値によるカッタートルク制御システム		戸田建設「AI Transformシールド」： https://www.toda.co.jp/assets/pdf/20200331.pdf								
	シールド機・セグメント位置計測	2	TSが行う坑内基準点測量、水準点測量、セグメント測量、シールド位置計測をタブレットにより遠隔操作可能なシステム	・計測開始、計測間隔調整、終了の自動化 ・データの自己診断機能、自動校正機能	3	・計測開始の自動化、および他の自動制御システムとの連携	・測量開始の自動化、および他の自動制御システムとの連携	特になし	大林組「シールド坑内自動測量システム」 「OGENTS/SURVEY™」： https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190117_1.html		
									TS3台を使用した自動計測によるシールド位置のリアルタイム計測およびセグメント出来形測量のタブレットによる自動遠隔計測システム	・セグメントの真円度を加味した測量制度の向上 ・同時施工中のセグメント測量完了	レーザー距離計などを用いたリアルタイムの真円度測量技術の開発 http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2022/77-06/77-06-0116.pdf
									スプレッターに設置されたTSによる自動計測システム	・自己診断機能、エラー値発生時の技術員への周知、他の自動制御システムとの連携	装置の故障・測定エラーの自己診断機能 https://www.toda.co.jp/assets/pdf/20200331.pdf
									ステレオカメラを用いた自動連続測量システム (測量機器の盛替え不要の自動連続測量システム)	・掘進制御システム (AI Transform シールド) との連携	特になし https://www.toda.co.jp/news/2023/20230516_003208.html
	テールクリアランス計測	2	シールドの前後中央とセグメントリングの内空計測結果からテールクリアランス、テールエンドクリアランスを算出するシステム	・計測結果の方向制御、セグメント割付計画、セグメント自動組立への提供 (各システムとの連携)	3	・他の自動制御システムとの連携	・計測データの活用による掘進管理およびセグメント組立の自動化	特になし	大林組「セグメント真円度計測装置」： https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/detail/tech_d161.html		
									余振り管理システムおよび線形管理システムと連携された後胴部とセグメントの中心からの半径方向の計測値の差で算出するテールクリアランス計測システム	特になし https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vol43/g043_20.pdf	
									セグメントに照射されたレーザー光のスプレッターのスケールマーカと比較によるクリアランスの自動算出システム	・濡れたセグメントでの光の拡散等による誤差の解消 ・掘進に伴う誤差の拡大の解消	撮像部分の精度向上 http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2021/76-06/76-06-0374.pdf

3.2.3 整理表

大項目	中項目	小項目	現状の自動化レベル	自動化概要	自動化のニーズ	自動化レベルの現実的な目標	今後の期待される取組み	必要・期待される要素技術	備考 現状および今後の取組みの参考 補足説明となるURLの記載
		動作の詳細/装置							
付帯設備 (共通)	セグメント 組立	エレクター	2	<大口径全自動セグメント組立てロボット> IHI (東京湾横断道路) 検知センサーにより組立済みセグメントの隣り合う位置に正確に旋回・移動し、エレクターに装備されたボルト締結器とボルト押し装置により組立を自動化。組位置決めや精位置決めは各種センサーにより検知	セグメント組立の自動化に向けてエレクターの自動化は不可欠。手動組立と同等以上の操作精度、および組立時間の短縮が必要。条件が変わった時(セグメントの変形モードに応じたセグメント組立など)に自動で判断する制御も必要	3	真円度の計測結果を踏まえたエレクター、形状保持装置の自動運転により、セグメント組立に関連する一連の作業の自動化	・手動組立よりも組立時間を短縮 ・自動組立システムのコスト低減	トンネル工学研究論文・報告集第7巻(1997.11) (IHI) https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalte1991/7/0/7_0_267/_pdf/-char/en
				<セグメント自動組立システムの開発> 西松建設 セグメント供給装置、エレクター装置、ボルト・ナット締結装置により構成され、搬送装置に設置されたセグメントを供給装置を介してエレクターへの受け渡し、位置決め、ボルト締結までを自動化。セグメント衝突防止センサーやボルト穴検出センサーにより、組立済みセグメントとの位置関係やボルト締結する位置を検出					西松建設技報VOL.15(1992) https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vol15/g015_01.pdf 西松建設技報VOL.16(1993) https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vol16/g016_02.pdf
				<シールドセグメントの自動組立システム> 熊谷組 セグメント供給装置、セグメント組立ロボットにより構成され、搬送装置に設置されたセグメントを供給装置を介して組立ロボットへの受け渡し、位置決め、ボルト締結までを自動化。ピン・ボルト継手(リング間:ピン、セグメント間:ホゾ)であるため、組立位置のシールドジャッキを1本~3本自動選択					日本ロボット学会誌8巻2号(1990.04) (熊谷組) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj1983/8/2/8_2_215/_pdf
				<セグメント半自動組立システム> JIMT セグメントの組位置決めまでを自動化し、精位置決めと継手結合を手動作業としたシステム。 <セグメント自動組立システム> JIMT エレクター把持部に設けられたバキューム吸引装置にてセグメントを吸引・把持する。そして、各種センサーの検知により位置決め、継手結合、把持解除までの一連のセグメント組立作業を自動化					JIMテクノロジーHP https://www.jimt.co.jp/tech/other.html
		<セグメント自動組立システム> 川崎重工 (現: UGITEC) セグメント供給装置、エレクター、ボルト締結装置から構成され、セグメントが供給装置に受渡されてから、組立~ボルト締結までを自動で行うシステム セグメント供給装置はエレクターへ自動供給。エレクターは旋回、伸縮、摺動、ピッチング、ヨーイング、ローリングの6軸動作。ボルト締結装置はエレクターに6台搭載し、ナットを1リング分エレクターに収納	日本建設機械施工協会「建設の機械化」pp.61-64 (1994.07) (川崎重工) ・出来形計測(真円度計測)、エレクター、形状保持装置を自動運転に連動させるソフト ・出来形計測(真円度計測)結果から、セグメントを適切に(ひび割れ、欠けなく)組立てるためのエレクター操作や形状保持装置の拡張量・拡張圧力を指示するAI						
		<形状保持装置(上下拡張式)> 上下に拡張するジャッキの圧力を調整し、セグメントを内側から形状を保持、掘進とともにレール上を移動。ジャッキの伸縮や次リングへの移動は人的に操作	形状保持装置	0					セグメント組立の自動化に向けて形状保持装置の自動化は不可欠。条件が変わった時(セグメントの変形量に応じた形状保持など)に自動で判断する制御も必要
出来形計測	2	<2D-RGB赤外線センサーによる真円度計測> 小口径向け 大林組 セグメント組立完了後、自動計測システムを人的に操作し、固定型の点群センサーでRGB画像と点群データ(650万箇所/秒)を取得。RGB画像からPC上で計測断面を特定し、そのピクセル座標に対応する点群座標を抽出し真円度を自動計算	セグメント組立の自動化に向けて形状保持の自動化と連動させて出来形計測の自動化は不可欠	土木学会第75回年講 VI-939(2020.09) (大林組) http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2020/75-06/75-06-0939.pdf					
		<3D-全方位センサーによる真円度計測> 中口径向け 大林組 セグメント組立完了後、360度方向に回転するレーザー照射機(RIDAR)2台により点群データ(30万箇所/秒)を取得。セグメント内部の点群データだけを抽出し、2つの計測結果を重ね合わせて真円度を自動算出							
		<回転式レーザー真円度自動測定システム> 鹿島建設 360度回転するレーザー距離計をシールド機中央付近に2箇所設置し、距離計から発信されるレーザー光線を360度回転する小型ミラーで90度方向に屈折させることで、セグメントリング(とシールド機の内部形状)をリアルタイムに測定。測定結果は演算処理を行い真円度(とテールクリアランス)を瞬時に画面表示		土木学会第72回年講 VI-301(2017.09) (鹿島建設) http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2017/72-06/72-06-0301.pdf					

3.2.3 整理表

大項目	中項目	小項目	現状の自動化レベル	自動化概要	自動化のニーズ	自動化レベルの現実的な目標	今後の期待される取組み	必要・期待される要素技術	備考 現状および今後の取組みの参考 補足説明となるURLの記載	
		動作の詳細/装置								
付帯設備 (共通)	テールブラシ	テールグリス注入制御	2	掘進と連動して、複数ある注入ポートを自動で切替えながら、単位時間当たり一定量をテールブラシ間に自動給脂<圧バランス式テールシール装置> 佐藤工業4段のテールシールで区分けされた3室へそれぞれ独立した注入圧でテールグリスを注入し、地下水圧と各室内のグリス圧をバランスした圧力で充填する自動給脂装置	シールド機の自動化に向けてテールグリス給脂装置の自動化は不可欠。条件が変わった時(テールクリアランスが変わった時など)に自動で判断する制御も必要	3	注入量、注入場所を自動で設定する技術	テールクリアランス計測結果やテールグリス充填圧から、注入量、注入場所を設定するソフト	土木学会第52回年講 VI-118(1997.09) (佐藤工業) http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/1997/52-6/52-6-0236.pdf	
		自動混練り装置	2	裏込め注入材A液の設定値にて、計量・混練り・貯留を自動で実施している	現状の自動化レベルに必要な混練り機能を果たしている	2	サイロ内の材料残量確認や混練り・貯留装置の洗浄の自動化	残量を計測する技術や洗浄のタイミングを設定する技術	タック「裏込め注入設備」: http://www.tac-co.com/business/backfill/equipment/	
		セグメントからの注入装置	1	注入圧上限設定で注入停止はするが、注入装置の取付け・取外し、注入操作、洗浄は手動で実施している	無し	1	-	-	-	-
		シールド機からの注入装置	2	注入圧上限設定の基、テールボイド発生と同時に自動注入・停止をコントロールし、注入終了後の装置洗浄も自動で実施している。装置に取り付けた土圧計(オプション)による注入圧測定は、テールボイド内注入圧の精度を高めている	注入圧上限設定などの人間の判断に委ねられる部分の掘進と連動したAI制御やスマートフォンアプリによる一元管理などが期待される	3	IT、AI企業との協働	AI制御のためのデータベース構築	タック「同時裏込め注入装置」: http://www.tac-co.com/business/backfill/injection-tube/	
	地上装置	2	セグメントラック方式で出入管理は中央制御室で集中管理。小面積立坑基地での需要あり	設備コストが大きい、省力化率が小さいことから、大断面・長距離施工以外のニーズは少ない	2	セグメント運搬車両からラック、及びセグメントラックから立坑投入設備までの自動化が課題	セグメントの載せ替え作業を自動化するハンドリング技術、各種センサー	【JCMA】 https://jcmnet.or.jp/kikaibukai/tunnel/pdf/siryou1-1.pdf		
		立坑投入	2		地上セグメントヤード、ラックからセグメントを受け取り、立坑下まで搬送する作業を自動化したシステム リフターで立坑下まで搬送されたセグメントを坑内搬送台車、運搬車両へ自動で積換えるシステム	2	現状レベルからの新たな取組みなし 現状レベルからの新たな取組みなし	-	【カジマメカトロ】 https://www.kme.jp/business/craftsmanship/ 【商島】 https://jcmnet.or.jp/bunken/symposium/2007/2007r33.pdf	
	セグメント供給装置	坑内搬送	2	バッテリー機関車(軌条式、タイヤ式)により、立坑下から後続台車後方、或いは切羽のセグメント搬送設備までの自動搬送システム 誘導方法:誘導無線、赤外線による運行制御、磁気テープ誘導式。監視カメラ等で中央制御にて一元管理 非接触センサー(光電・ラダー・レーザー・画像認証)、対物バンパーにより障害物検知し自動停止	3	非常停止後の再始動に対する自動化(自律化)が課題	非常停止時の状況把握、再始動の判断を総合的にシステム化できる技術	【五洋】 https://penta-ocean-int.com/wp-content/uploads/2014/11/g27-09.pdf 【西松】 https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vo118/g018_01.pdf 【清水】 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/1991/4/27/1991_427_299/_pdf		
		エレクター供給	2	坑内搬送されてきたセグメントを受取からエレクター操作地点まで自動的に搬送するシステム	2	現状レベルからの新たな取組みなし	-	-		
		一連自動搬送	2	セグメントストックヤードから切羽セグメント組立位置まで、すべて半自動で搬送するシステム	3	現状レベルからの新たな取組みなし	・セグメントの載せ替え作業を自動化するハンドリング技術、各種センサー ・非常停止時の状況把握、再始動の判断を総合的にシステム化できる技術	【商島】 https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html#body_04		

3.3.1 概要

3.3.1.1 対象とした海洋工事用機械

- ▶ 今回の活動において、海洋工事グループでは港湾工事で活躍する作業船の船種ごとに、①ポンプ浚渫船、②グラブ浚渫船、③バックホウ浚渫船、④起重機船（自航式、非自航式）、⑤杭打ち船、⑥深層混合処理船（CDM船）、⑦サンドコンパクション船（SCP船）、⑧プレミックス船（PMC船）を選定した。

3.3.1.2 整理にあたっての基本的な考え方

- ▶ 大項目については、上記に記載した作業船とした。中項目は、大項目で対象とした作業船を構成する装置で整理を行い、小項目では中項目で整理した装置を構成する機器類およびその作業や動作に必要なセンサー類を抽出した。整理表は特定した作業船の評価を行うものではなく、中項目ごとにトップランナーとなる装置を抽出し、評価を行った。

3.3.1.3 整理結果の概要

(1) ポンプ浚渫船

- ▶ 浚渫ポンプの現状レベルは、リアルタイムの浚渫情報と施工条件などから総合的な判断が必要となり、オペレータによる手動操作となるため、レベル0とした。目標レベルは運転時の浚渫情報（吸入・吐出圧力、流量等）から浚渫ポンプを効率よく制御する技術と掘削に必要なカッターやラダーウィンチ、スイングウィンチとの連携による自動化とし、レベル3とした。

(2) グラブ浚渫船

- クレーンの現状レベルは、クレーン作業（浚渫、旋回、積込）の一連の動作が自動化されている。またクレーン旋回角に応じてグラブバケットの向きを角度制御する機能や、設定した深度までバケットを降下させ水平掘りを行う制御もあり、レベル3とした。目標レベルは、トラブル対応の自動化までは困難なことから、現状の自動化レベルと同等のレベル3とした。

(3) バックホウ浚渫船

- バックホウの現状レベルは、オペレーターがマシンガイダンスでバケットの位置を確認しながらの掘削や法面成形、捨石均し作業を手動で行っているため、レベル0とした。目標レベルは、陸上のバックホウ自動化が実現することで浚渫船のバックホウでも自動化が期待され、バケット刃先の位置やリアルタイムで出来形を正確に計測・確認できるシステムと組み合わせた自動化とし、レベル2とした。

(4) 起重機船

- クレーンの現状レベルは、海上作業では波風の影響による吊荷が振れることや、船体の移動もしくは動揺から自動制御が困難であり、自航式・非自航式ともにオペレーターによる手動操作のためレベル0とした。目標レベルは、自航式の場合、船体の動揺を計測して吊荷の上下動を低減するウィンチ制御や、国土交通省の主導で進められている自動操船および自動離着岸機能が期待されることからレベル3とした。非自航式の場合、船体情報や操船ウィンチとの連携（ワイヤー操出量、張力、アンカー位置など）により、吊荷の位置決めと据付を自動化するものでありレベル2とした。

(5) 杭打ち船

- クレーンの現状レベルは、鋼管杭の吊込みやリーダーに固定するためのパイルキーパーへの把持、設計の傾斜角に調整するためのキャッチフォーク操作を手動で行っているためレベル0とした。目標レベルは、杭の位置・角度の調整を船体情報や陸上の遠隔監視システムによる杭の位置角度情報とクレーン構成機器との連携による制御から打設の自動化が期待されるとしてレベル2とした。

(6) 深層混合処理船（CDM船）

- 改良機の現状レベルは、改良深度に応じた昇降速度や回転速度、固化材注入量の調整など自動化が図られておりレベル2とした。目標レベルは、貫入施工時における地盤情報（地盤の硬軟や障害物等）に応じた昇降ウィンチとプラント設備との連携から高度な自動化が期待されレベル3とした。

(7) サンドコンパクション船（SCP船）

- パイルウィンチの現状レベルは、ケーシング巻下操作において地盤強度の変化に応じた移動速度の調整が必要で、自動化は難しく、手動操作で行っているためレベル0とした。目標レベルは、ウィンチのワイヤー張力や船体の動揺、バイブロハンマーの振動による影響を考慮したウィンチ制御による自動化としてレベル2とした。

(8) プレミックス船 (PMC船)

- 圧送ポンプの現状レベルは、製造した固化処理土を管内圧力を基に配管が閉塞しないよう運転制御を行っておりレベル1とした。目標レベルは、処理土圧送箇所が出来形情報から圧送ポンプの送泥流量調整を自動化するものとし、また、揚土量に応じた固化材添加量の自動調整を期待し、レベル2とした。

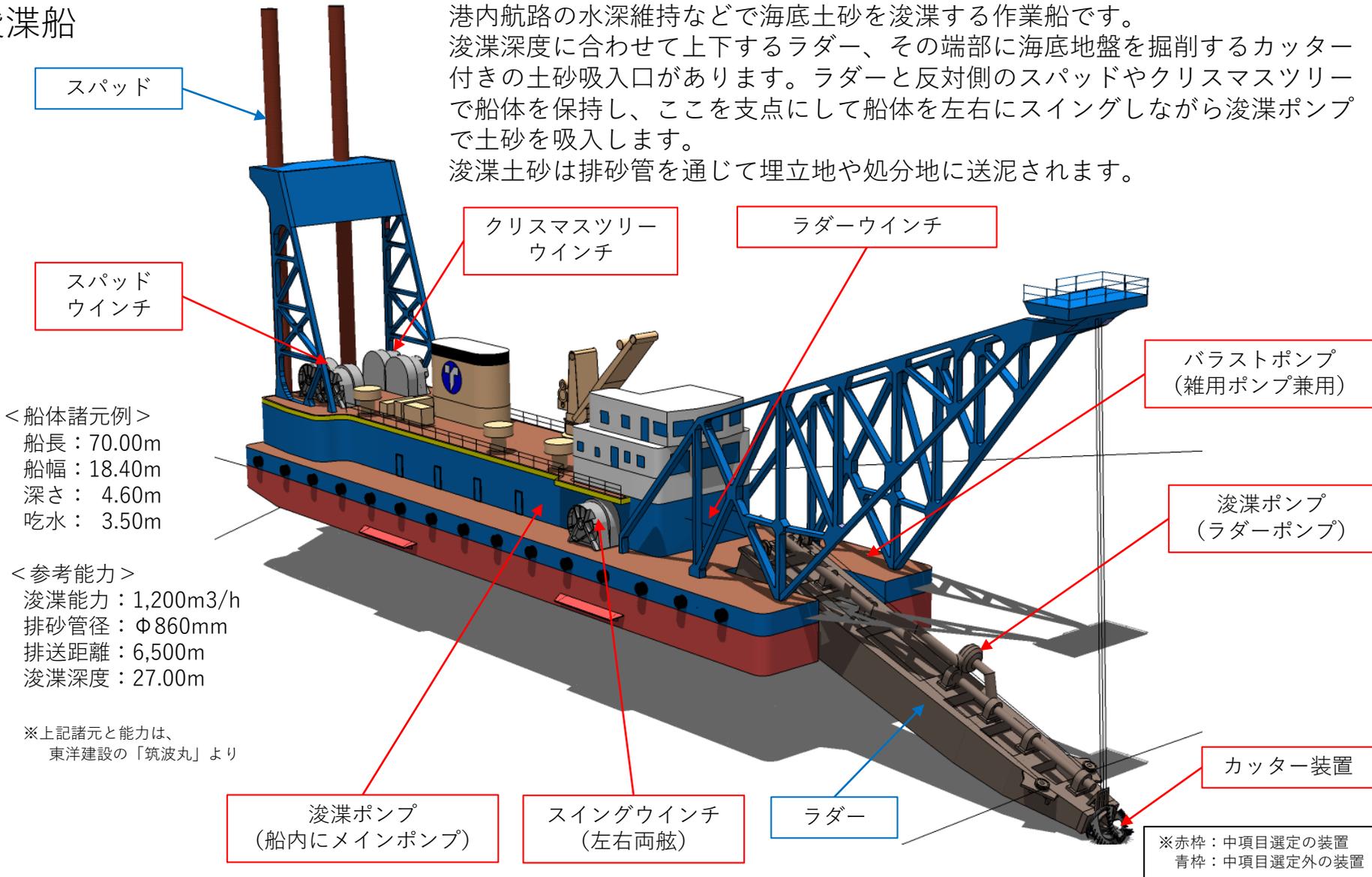
(9) 共通

- 作業船の現状レベルは、レベル0～2の評価が多い結果となった。港湾工事における作業の性質上、海象の影響を受けることや水中作業での位置特定が難しいことなどが、低いレベルの評価となった要因と考えられる。目標のレベルでは、レベル3以上の評価は少なく、現状レベルと同様レベル0～2の評価が多い結果となった。港湾工事における作業船では、施工中の装置の操作自体は自動化も可能と考えられるが、安全管理上作業員を減少させることが困難なことや、作業船の作業として大幅な人員削減が見込めないことが現状の自動化レベルで必要十分との評価に繋がっていると考えらえる。

3.3.2 概要資料

(1) ポンプ浚渫船

港内航路の水深維持などで海底土砂を浚渫する作業船です。浚渫深度に合わせて上下するラダー、その端部に海底地盤を掘削するカッター付きの土砂吸入口があります。ラダーと反対側のスパッドやクリスマスツリーで船体を保持し、ここを支点にして船体を左右にスイングしながら浚渫ポンプで土砂を吸入します。浚渫土砂は排砂管を通じて埋立地や処分地へ送泥されます。



3.3.2 概要資料

(2) グラブ浚渫船

グラブバケットによって土砂をつかみ揚げる方式で浚渫する作業船のことをいいます。浚った土砂は自船の泥槽または土運船に積載します。作業時の船体固定および移動方式により①アンカー方式と②スパッド方式（アンカーレス方式）等があります。

< 船体諸元例 >

船長 : 60.00m

船幅 : 24.00m

喫水 : 4.00m(船首)/4.30m(船尾)

< 参考能力 >

直巻能力 : 110tf

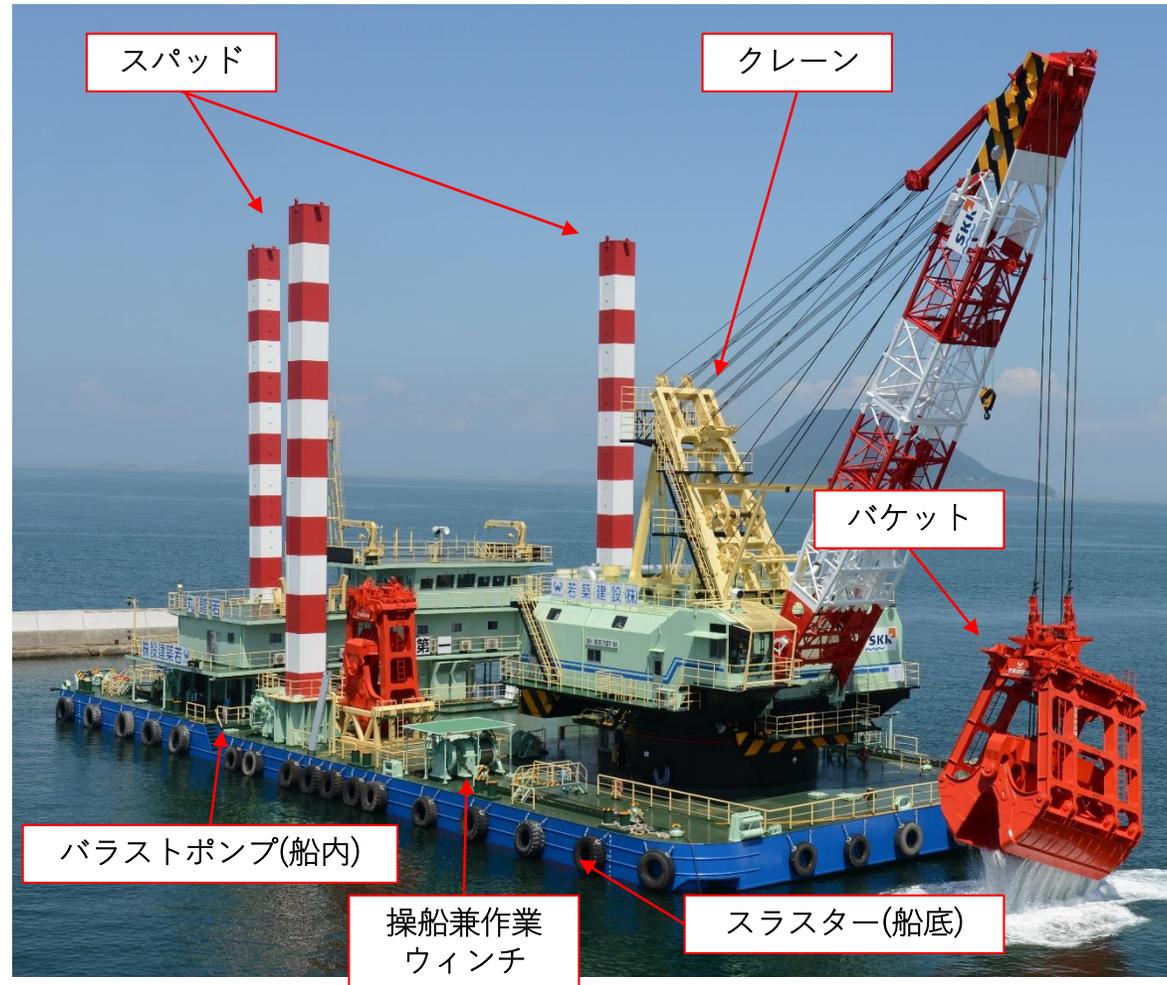
バケット容量 : 30.0^m (軽量型)

27.0^m (普通盤用)

10.0^m (硬度盤用)

浚渫深度 : 60.00m

※上記諸元と能力は、
若築建設の「若鷲丸」より



3.3.2 概要資料

(3) バックホウ浚渫船

船首部の低い位置に搭載したバックホウと呼ばれる油圧ショベルにより水底の土砂を浚渫する作業船です。硬土盤土質や軟岩の浚渫も可能で、狭い河川や湖沼での作業にも使用されています。

< 船体諸元例 >

船長 : 50.00 [m]
船幅 : 21.60 [m]
深さ : 3.45 [m]

< バックホウアタッチメント >

[水深24m仕様]
1.0m³掘削バケット
岩掴みバケット
法面バケット
水中振動タンパ

[水深17m仕様]
5.0m³掘削バケット
水中ブレーカー
水中振動リッパ
水中振動タンパ

※上記諸元とアタッチメントは、
五洋建設の「BHC-2401」より



3.3.2 概要資料

(4) 起重機船

起重機船は、クレーンを装備し重量物を吊り上げて移動させる用途に特化した作業船です。自航式・非自航式があり、クレーン型式により、ジブ固定・ジブ俯仰・旋回式等があります。

< 船体諸元例 >

総トン数：4,801 [GT]
船長：90.50 [m]
船幅：27.00 [m]
深さ：5.00 [m]
吃水：3.70 [m]

< 参考能力 >

定格荷重：500/71.6 [t]
主巻上速度：5.00 [m/min]
揚程：22.10 [m]
位置保持装置：ClassNK DPS-2

※上記諸元と能力は、
五洋建設 多目的自航式起重機船「CP-5001」より



3.3.2 概要資料

(5) 杭打ち船

杭打ち船は、油圧ハンマーなどの打設装置により、各種杭を海底に打ち込むことができる作業船です。リーダーには、固定式や傾動式、旋回式のものがあり、直杭以外に斜杭の打設も可能です。

< 船体諸元例 >

船長	: 76.00 [m]
船幅	: 30.00 [m]
深さ	: 6.00 [m]
吃水	: 2.26 [m]

< 参考能力 >

リーダー

形式	: 全旋回
高さ	: 80 [m]
傾斜角	: ± 25 [°]

油圧ハンマ

打撃エネルギー : 280 [kJ]

杭

直径	: 0.6~2.5 [m]
長さ	: Max. 74 [m] (水面下)
質量	: Max. 100 [ton]

※上記諸元と能力は、東亜建設工業の「鶴隆」より



3.3.2 概要資料

(6) 深層混合処理船（CDM船）

深層混合処理船（CDM船）は海底下軟弱土中にスラリー状にしたセメント系の安定処理剤をポンプで圧入するとともに、攪拌翼の回転により攪拌混合し固化させ、地盤改良することを目的とした作業船です。

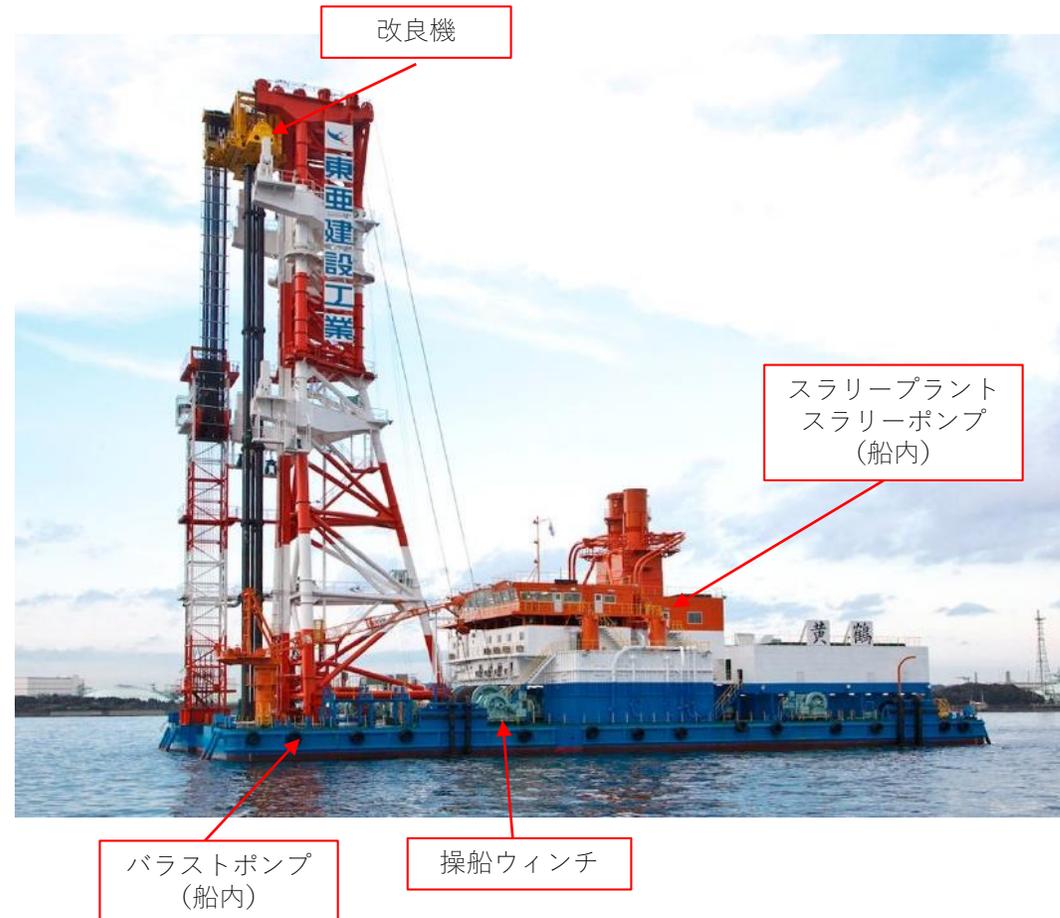
< 船体諸元 >

排水トン数	: 5,700 [t]
船長	: 70.00 [m]
船幅	: 32.00 [m]
深さ	: 4.50 [m]
吃水	: 2.65 [m]

< 参考能力 >

改良面積	: 5.47 [m ²]
改良深さ(水面下)	: 52.00 [m]
処理能力	: 90 [m ³ /h]
ミキサー	: 3.0×2 [m ³ ×台]
グラウトポンプ	: 440×8 [L/min×台]

※上記諸元と能力は、東亜建設工業の「黄鶴」より



3.3.2 概要資料

(7) サンドコンパクション船 (SCP船)

サンドコンパクション船 (SCP船) は軟弱地盤中に振動あるいは回転を用いて砂を圧入し、良く締め固められた砂杭を造成して軟弱地盤を改良することを目的とした作業船です。造杭方式として動的締固め方式 (打戻し締固め方式) と静的締固め方式があり、それぞれに特徴のある締固め装置を装備しています。

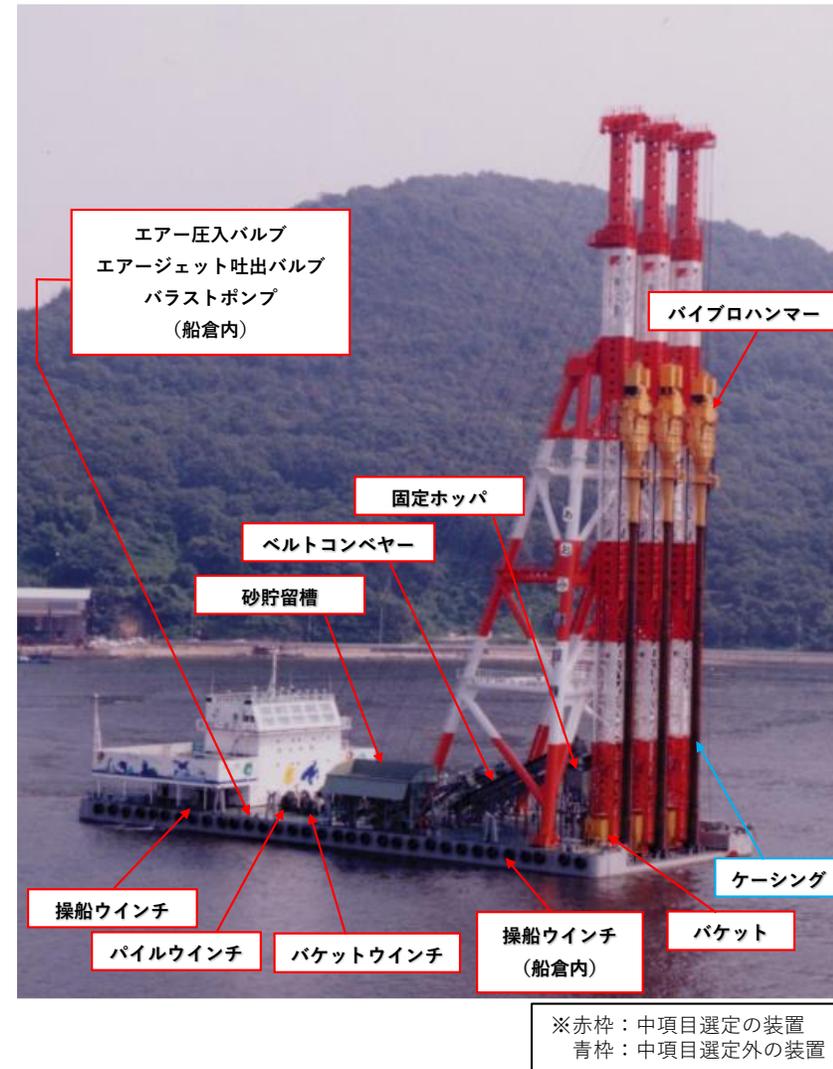
< 船体諸元例 >

船長：70.00m
船幅：30.00m
深さ：4.50m
吃水：2.30m
造杭方式：打戻し締固め方式

< 参考能力 >

最大打設深度：水面下55m
連装数：3連
砂杭径：0.8～2.0m
打設ピッチ：0.8～6.8m

※上記諸元と能力は、
あおみ建設の「KSC-K75」



※赤枠：中項目選定の装置
青枠：中項目選定外の装置

3.3.2 概要資料

(8) プレミックス船 (PMC船)

プレミックス船は、港湾や河川から発生した軟弱な浚渫土を固化処理し、埋立地盤や護岸の裏込めなどの材料として使用することを目的とした作業船です。主に土運船で運搬される浚渫土を揚土するための設備、浚渫土にセメントなどの固化材をミキサーで機械的に混合・攪拌するための設備、製作したスラリー状の処理土をポンプで打設する設備を装備しており、本船のみで大量の浚渫土を有効利用することが可能です。

< 船体諸元例 >

排水トン数	: 2,926 [t]
船長	: 65.00 [m]
船幅	: 25.00 [m]
深さ	: 5.10 [m]
吃水	: 2.70 [m]

< 参考能力 >

処理能力	: 400.00 [m ³ /h]
排送距離	: 600.00 [m]
排送管径	: 0.35 [m]
混合方式	: 連続・バッチ方式
[搭載バックホウ]	
バケット容量	: 5.00 [m ³]
揚土能力	: 600.00 [m ³ /h]

※上記諸元と能力は、
五洋建設、関門港湾建設（共有）の「PM-6001」より



3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
ポンプ浚渫船	浚渫ポンプ	メインポンプ ラダーポンプ	0	ポンプ操作はリアルタイムの浚渫情報と施工条件から判断する必要があるため、手動で操作している	ポンプ閉塞など、トラブルを未然に防ぐことが期待できる	3	ポンプ操作を自動化するためには浚渫情報が必要であり、施工状況に応じポンプ駆動源を制御する	運転時の浚渫情報（吸入・吐出圧力、流量、密度など）により浚渫ポンプを効率よく制御する技術が必要と考える	ポンプ駆動源は内燃機関、電動機など各社船舶によって違いがある
		圧力計(吸入/吐出) 流量計 密度計					浚渫情報からポンプを自動運転することが課題である		
	カッター装置	0	カッター回転数の操作は常に変化する原地盤の条件に対応する必要があるため、手動で操作している	カッター破損など、トラブルを未然に防ぐことが期待できる	カッター回転数は設定した数値（回転数）を維持することは可能だが、常に変化する原地盤の条件に自動的に対応することは困難であるためオペレーターが手動操作を行っている		運転時の原地盤状況に対応できるカッター回転数を制御する技術が必要と考える	カッター駆動源が油圧の場合は検討が必要である	
	ラダーウインチ	3	海底地盤の事前測量結果、浚渫設計深度、船体情報をもとにラダーウインチを設定深度に自動調整する	設定した深度に自動でラダー制御を行い、高い浚渫精度を確保する	現状のラダーウインチ制御に加え、今後将来に浚渫ポンプ制御、カッター装置制御、スイングウインチ制御を取り組み、自動制御が可能となれば、ポンプ浚渫作業は自動化レベル「3」まで達成できると考える		現状の技術で目標達成と考える	各社船舶によって使用する測量機器は異なる	
	スイングウインチ	GNSS	2	海底地盤の事前測量結果、浚渫設計深度、船体情報よりスイングウインチを速度制御する	オペの運転経験不足を補い、誰が運転しても同様な出来形精度となることが期待できる		両舷のスイングウインチを定速で動かすことは可能だが、リアルタイムに変化する浚渫情報（ポンプ回転数、吸入・吐出圧力、流量、含泥率など）、原地盤情報（カッター回転数、電流値）と船体情報（GNSS、吃水計、傾斜計）を取り込んでスイング速度を制御しなければ自動化にならない	運転時の浚渫情報と原地盤情報と船体情報によりスイング速度を制御する技術が必要と考える	浚渫ポンプ、カッター装置、ラダーウインチ、およびスイングウインチの各動作を連携した制御技術が必要と考える 例えば、浚渫ポンプの吐出圧が高くなれば、ラダーを上昇させスイング速度を下げて対応する連携技術が必要となる
		アンカーブーム	0	スイングアンカー打替え用のブームおよびスイングアンカー用ウインチを装備することで、自船でアンカーの打替えができる	スイングアンカーを自動で打替える		GNSS誘導、オートパイロット機能などにより本船を自動操船し、所定の位置に来た時にアンカーを落とす（自動でウインチのブレーキを解除する）		自航式ポンプ浚渫船に限定される

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
ポンプ浚渫船	スバッドウインチ	GNSS	0	GNSSより位置情報を取得し船位誘導画面に船体位置をリアルタイムに表示して、スバッドウインチを手動で操作する	次施工位置（転船場所）の間違いを防止する	2	スバッド単体の昇降自動化はウインチ単体の操作を制御すれば可能である。スイングウインチを操作しながらスバッドを落とす位置（タイミング）を指示できれば、操船自動化ができると考える 但し、スバッドキャリッジ機能であれば操船自動化は単純である	船体位置情報から次施工位置へ移動するためスバッドを落とす位置を指示する技術（経験機能）が必要と考える	操船作業の自動化は可能だが、微調整が必要となり手動の移動に比べ移動速度が遅い スイングアンカーの打ち替え作業が必要となる
		GNSS	0	GNSSより位置情報を取得し船位誘導画面に船体位置をリアルタイムに表示して、クリスマスウインチを手動で操作して所定の位置へ移動する		2	操船の自動化にはクリスマスウインチのアンカー位置情報（座標）、クリスマスウインチワイヤーの繰り出し量、ワイヤー張力のデータが必要である 船体位置情報から目的地へ移動するため、各ウインチ操作を制御する	船体位置情報から次施工位置へ移動するため各ウインチの操作量を指示し、移動中にワイヤーが切断しないようワイヤー張力を監視しながら各ウインチ操作を制御する技術が必要と考える	
	バラストポンプ (雑用ポンプ兼用)	液面計 傾斜計	0	船体のトリム・ヒールが水平になるようバラスト調整は手動で行う	作業の性質上、船体の傾きは重要でなく、現状レベルで機能を果たしている	0			

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
グラフ浚渫船 (非自航)	クレーン	旋回用エンコーダ 支持ドラムエンコーダ 開閉ドラムエンコーダ 傾斜計（起伏） 油圧シリンダー	3	旋回に応じて生じる扇状のグラフバケットの向きをバケットと船体が常に平行な状態を達成する(角度制御) 設定してある深度までバケットを降下させ、掘り残しを減少させた浚渫を行う(水平掘り) バケットの巻上を行った後、クレーンを旋回をして土運船への土砂投棄を行う 土砂投棄後、クレーンの旋回を行いブームを船体正面に向ける	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	3			水平掘り資料(SKK社HP) https://www.skk-crane.co.jp/ja/product/dredging/185/

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考	
グラブ浚渫船 (非自航)	バケット	センサ無し	0	開閉についてはクレーン部の開閉ドラムで行う 法面施工の際に作業員がバケット支持ワイヤの 位置を変更する(手動作業)	法面角度に応じてバケットを傾斜させること により、余掘量の低減ができる。支持ワイヤの 吊位置を自動変更する事により安全 かつ法面角度変更できる	2	法面角度を入力する事によりバケットの傾 斜情報から支持ワイヤの吊位置を油圧で変 更する方法が考えられる	ワイヤで吊り下げているバケットに高圧の 油圧配管を接続する技術。もしくは水中に 沈むバケットに油圧ポンプを取り付けられ る技術が必要と考えられる	角度制御装置と組み合わせることで更なる高 効率施工が望めるが、装置としては個々の 設定となる	
	スパッド	GNSS エンコーダ(上下)	0	GNSSにより船体の位置情報を計測し、リアルタ イムに表示する。ブリッジから手動操作でキッ クスパッドを差し込み、固定スパッドを上げる 施工管理ソフトで設定した次施工場所までキッ クスパッドで移動させ、固定スパッドを差し込 む	次施工位置(転船場所)の間違いを防止す る 手動と同等の転船作業うことにより、最少 人数の管理で転船を行える	2	スパッドの昇降はエンコーダで計測し、昇 降の移動量を制御する。GNSSにより船体の 位置情報を計測し、設定した移動量まで キックスパッドで転船を行う。転船後、固 定スパッドを落下させる	潮流や風の影響を受ける為、スパッドを落 とす位置を判断する技術が必要と考える		
	スラスタ	GNSS 回転数 旋回角	0	施工管理ソフトで設定した次施工場所まで転船 する際に、潮流や風の影響で本船が流された場 合、ブリッジから手動でスラスタを起動して 船体を保持する	次施工位置(転船場所)の間違いを防止す る 手動と同等の転船作業うことにより、最少 人数の管理で転船を行える	2	GNSSにより船体の位置情報を計測し、施工 管理ソフトに反映されている船体位置から 移動先までの転船中にずれが生じたらスラ スタで船体位置の保持を行う	潮流の風の影響を受ける為、スラスタの回 転数・旋回角を判断する技術が必要と考え る		
	操船兼作業ウィンチ	GNSS	0	操船ウィンチ 兼 土運船引付 兼 汚濁防止枠引付 を手動で操作する	うねりを伴うような海域での運用がメイン の為、自動化の需要無し	0				
	バラストポンプ	液面計 傾斜計	0	手動で操作する	作業の性質上、船体の傾きは支障がなく、 自動化の需要無し	0				

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
バックホウ 浚渫船	バックホウ	3Dソナー GNSS (MG) 傾斜計 (MG) エンコーダ (MG)	0	・オペレーターがマシニングガイドでバケット の位置を確認しながら、港湾、河川の底面を掘 削し、土砂を土運船に積み込む、マウンド均し、 法面成形などの作業を行う。 ・3Dソナーで港湾、河川の底面形状をリアルタ イムで計測できる。	浚渫作業の一連動作(旋回、掘削、放土、 次掘削箇所への移動)について自動化の需 要がある。	2	陸上バックホウの自動化が実現すれば、浚 渫船のバックホウ自動化も期待される。	バケット刃先の位置を正確に計測するシ ステムとリアルタイムで出来形を正確に確 認できるシステムが必要と考える。 船体の移動と動揺に合わせてバケット刃 先の位置を自動補正するシステムが望まれ る。	土木施工に使用するバックホウでは、半自 動制御を行う。ICT建機が製品化されてい るが、自動掘削を行うものは製品化されてい ない。 研究・実証レベルでは、ゼネコン各社にお ける事例がある。 https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190718_1.html

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
バックホウ 浚渫船	スバッド	GNSS エンコーダ(上下) ストローク計(キックSP 角)	0	手で操作する。	手動操作と同程度の速度・精度にて設定された位置まで自動で船体を移動する。	2	スバッドの上下をエンコーダで計測し、移動量を制御する。GNSSで船体位置を計測し、設定した移動量までキックスバッドで転船を行う。	船体位置やスバッド位置・角度などの情報に加え、風向風速、潮流の流向流速、潮位などを考慮し、船体の位置を自動制御する技術が期待される。	
	操船ウィンチ	GNSS	0	手で操作する。	スバッドで係留および移動することが多いため、ウィンチ操作の自動化は需要がない。	0			
	バラストポンプ	液面計 傾斜計	0	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように手動でバラスト量を調整する。	作業の性質上、船体の傾きは重要ではなく、現状レベルで機能を果たしている。	0			

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
自航式/非自航式起重機船	【自航式】 推進機 操舵装置	主推進機 バウスラスト 舵 ロータリーエンコーダ GNSS ジャイロコンパス	3	Dynamic Positioning System : アンカーによる係留が困難な大水深の海域などにおいて、推進装置を制御することにより、アンカーなしで船体の位置・方位を保持する。主に揚重作業時に使用する。	現状で必要十分な機能を果たしている。	3		現状の技術で目標達成と考える。	日本マリンエンジニアリング学会誌第53巻第4号 「自動船位保持装置」 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime/53/4/53_550/_pdf/-char/ja
			3	Auto Pilot : ジャイロコンパスなどの方位センサーから方位信号を受け、目的の針路で航行するように操舵を自動制御する。主に長距離移動時に使用する。 船位誘導機能: 電子海図上で通過すべき位置(変針点、以降Way Point : WPと称す)の設定と変更ができる。複数のWPによって航行経路を設定することができ、その経路に沿ったトラッキング航行が可能となる。航行経路トラッキングのための制御アルゴリズムは、現在位置と航行予定の経路との差に比例した修正針路角を求め、オートパイロットに対し指令方位を出力する。	フェーズII自動運航船 陸上からの操船やAI等による行動提案で、最終的な意思決定者である船員をサポートする。 フェーズIII自動運航船 自律性が高く、最終意思決定者が船員ではない領域が存在する。	3 ※フェーズIIIが実現すれば、4も期待できる。	フェーズII自動運航船を2025年までに実用化 ・自動操船機能 ・自動離着機機能 システムの健全性の評価手法、緊急時の安全確保策等の確立に必要なデータの収集等を行う。 フェーズIII自動運航船は未着手(2025年以降か?)	自動化レベル4「高度運転自動化」の達成が望まれる。 国土交通省「自動運航船の実用化へ向けた取組」 https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr7_000041.html	

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
自航式/非自航式 起重機船	【自航式】 操船ウインチ		0	手動で操作する。	【自航式】 水深が深い海域での運用がメインのため、自動化の需要なし。	0			
	【非自航式】 操船ウインチ			海上作業では、波風の影響で船体が移動・動揺するため、自動制御は非常に困難である。	【非自航式】 アンカー係留が可能な水深の海域では、本船の移動をウインチで操作する。	2	船体位置や操船ワイヤー操出量、張力、アンカー位置、ブーム角度などのデータを取り込み、熟練者の操船技術を数値化したAI制御によって移動速度と精度を上げることが考えられる。	左側の船体等の情報に加え、風向風速、潮流の流行流速、潮位などと吊荷の振れを考慮し、船体の移動および吊荷の位置を自動制御する技術が期待される。	
	【自航式】 クレーン (全旋回式)	ロータリーエンコーダ (ブーム角、フック高さ、旋回角) 荷重計	0	海上作業では、波風の影響で船体が移動・動揺するため、自動制御は非常に困難である。	外洋作業時の吊荷の上下動を低減させることで船舶の稼働率を向上させる。	3	「吊荷上下動低減装置」は、船体の揺れを予測する「動揺予測システム」と吊荷を上下させるウインチを制御する「ウインチ制御システム」で構成される。	6方向の船体運動を検知し、吊荷の動揺を上下方向だけでなく前後左右方向もキャンセル可能な装置の開発が望まれる。	
	【非自航式】 クレーン (ジブ固定式・ ジブ俯仰式)	ロータリーエンコーダ (ブーム角、フック高さ) 荷重計		ウインチと起重機を連動して自動制御することによって、吊荷位置決めの自動化が望まれる。	2	吊ワイヤー操出量などのデータを取り込み、熟練者の操船技術を数値化したAI制御によって移動速度と精度を上げることが考えられる。			
	バラストポンプ	傾斜計 液面計	0	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように手動でバラスト量を調整する。	作業の性質上、船体の傾きは重要ではなく、現状レベルで機能を果たしている。	0			

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
杭打ち船	クレーン	リーダー	0	鋼管杭吊り込み作業は手動。 4台の巻上装置を使用し、杭をリーダーに吊り込む。	杭の位置・角度の誘導と打設途中の位置・角度修正を自動化する。	2	船体位置誘導システム（リーダー、バイルキーパーおよびキャッチホークの状態監視）と遠隔監視システム情報を取り込み、リーダーやバイルキーパー、キャッチホークの姿勢制御を行い、打設時における杭の角度調整自動化が期待される。	陸上の遠隔監視システムからの杭座標や角度情報からクレーン構成機器（リーダー、バイルキーパーおよびキャッチホーク）の連動制御を行う必要がある。さらに陸上と作業船間で安定して高速な通信も必要と考えられる。	
		リーダー角度計		リーダーの傾斜角度を計測する。					
		バイルキーパー		リーダーに吊り込んだ鋼管杭をバイルキーパーにて把持し、リーダーに固定する。					
		キャッチフック		リーダー下部に連結され、クレーンジブの起伏角度と油圧シリンダの伸縮によりリーダーの傾斜角度を変える。斜杭打ち込み時で使用される。					

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
杭打ち船	操船ウィンチ	GNSS 二軸傾斜計 遠隔監視システム (自動追尾式TS+カメラ) 線長荷重計	0	手動による船体位置誘導。 GNSSや傾斜計等により船体位置と杭の打設位置に誘導するシステムを搭載。打設時の管理はシオモニ等、陸上からの測量システムを使用することが多い。	杭の位置誘導と打設時の位置修正を自動化する。	2	GNSSや遠隔監視システム情報より操船ウィンチを制御し、所定の位置に移動する。	船体等の情報に加え、風向風速、潮流の流向流速、潮位などと杭の振れを考慮し、船体の移動および杭の位置を自動制御する技術が期待される。	同一のワイヤリングによる移動可能範囲内に限る。それ以上の移動・転船は揚船船によるアンカー打ち替え作業が必要となる
		パイロハンマー	0	手動で起動/停止、出力調整する。	所定の杭天端高まで効率的に打設できるようにパイロハンマーの出力を自動調整し、自動で停止する。	2	遠隔監視システムから杭の天端高と打設速度を取り込み、打設管理システムの演算結果を基にパイロハンマーの出力を調整する。	遠隔監視システムと打設管理システムおよびパイロハンマー制御の連携と改良が必要となる。さらに陸上と作業船間の安定して高速な通信も必要となる。	
	油圧ハンマー	0	打撃エネルギー、打撃回数、作動油圧、エンジン回転数と異常探知等重要なデータをCPに表示する。自動停止機能、自動杭打設レポート機能あり。	所定の杭天端高まで効率的に打設できるように油圧ハンマーの出力を自動調整し、自動で停止する。	2	遠隔監視システムから杭の天端高と打設速度を取り込み、打設管理システムの演算結果を基に油圧ハンマーの出力を調整する。	遠隔監視システムと打設管理システムおよび油圧ハンマー制御の連携と改良が必要となる。さらに陸上と作業船間の安定して高速な通信も必要となる。	森長組HP (IHCハンマー) http://www.moricho.co.jp/hammer-post/ihc油圧ハンマー/	
	バラストポンプ	液面計 傾斜計	2	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように、バラスト量を調整する。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			単独の制御であり、これ以上の制御は需要がない。鋼管杭を打設するため船体の水平性制御が重要となる。

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
深層混合処理船 (CDM船)	スラリープラント	水タンク 電磁流量計	2	水位センサーでタンクの水位を管理し、バルブの開閉を自動で行い、水量を確保する。水の計量は電磁流量計によって所定量をミキサーに放出する。	プラントの自動制御は、現状で必要十分な機能を果たしている。	2			
		セメントサイロ 固化材計量ビン ロードセル		計量ビンの規定量まで自動で空気輸送し、一定間隔でバグフィルタ・エアースライドが運転する。固化材の計量はロードセルで行い、ミキサーに供給する。					
		ミキサー ロードセル		1バッチの製造に際して練時間/攪拌翼の回転数を設定し、自動的に計量・混合・排出を行う。	清掃作業で自動化へのニーズがある。			ウォータージェットの使用で清掃の自動化が期待される。	付着箇所の計測技術とピンポイントにウォータージェットを当てる制御、除去後を判断する技術が必要と考えられる。
		アジテーター		ミキサーで製造されたスラリーを貯蔵し、スラリーポンプで吐出する。					

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
深層混合処理船 (CDM船)	スラリーポンプ	流量計	2	処理機昇降速度や改良区間毎の規定値に合わせてスラリーを吐出する。	単位体積当りの注入量制御で必要十分な機能を果たしている。	2			
	改良機	昇降ウィンチ		改良杭の長さで貫入吐出施工と引抜吐出施工があり、自動昇降可能であるが、貫入時は地層の変化や障害物、着底判定などもあり手動による巻下げ操作が主となる。着底後は自動制御で改良深度に応じた速度、回転数制御している。	貫入施工時における地盤の硬軟に応じた昇降や障害物等による施工回避などを可能とする。	3	改良機の回転数や荷重、電流値などによる地盤情報と昇降ウィンチ制御、プラント設備との連携が必要と考えられる。	地盤情報と貫入時の計測器情報から装置の故障を判断できる機能が考えられる。	
		エンコーダー (昇降速度) ロードセル (荷重計)							
		エンコーダー (回転計)							
操船ウィンチ	GNSS 線長荷重計	2	GNSSで船体位置を計測し、あらかじめ設定された打設位置へ自動で操船ウィンチを動作して移動する。但し、手動の移動にくらべ移動速度が遅い。	手動操作と同程度以上の速度・精度にて設定された打設位置に自動で操船ウィンチを動作して移動する。	2	操船ワイヤーの張力 (ロードセル) や繰り出し量 (エンコーダ) を計測し、自動で複数台の操船ウィンチを同時に制御する方法が考えられる。移動速度が手動操作と同程度以上になるような対策が必要となる。	操船ワイヤーの張力、繰り出し量やアンカーの投給位置座標に加え、風向風速、潮流の流向流速、潮位などを考慮し、船体の移動および改良機の位置を自動制御する技術が期待される。	自動時は同一のワイヤリングによる移動可能範囲内に限る。それ以上の移動・転船は揚揚船によるアンカー打ち替え作業が必要となる。	
バラストポンプ	傾斜計 液面計	2	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように自動でバラスト量を調整する。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			・地盤中に杭を造成するため精度が求められる工法であり、船体の水平性を保つバラスト調整は重要となる。	

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
サンドコンパクション船 (SCP船)	バイルウィンチ	貫入深度計測センサ 水深計	0	一部の打設工法 (現在は使用していない工法) では、造成行程 (巻下げ) において自動造成を行う機能はあるが、地盤の硬軟によりワイヤーが乱巻になったりする等修理時間が度々発生するため使用していない。ケーシング巻下操作は、地盤強度の変化に応じた移動速度の調整が必要で、自動化は難しく、手動操作で行っている。現在広く行われている、打ち戻し工法では、すべて手動で行っている。	造成中のケーシング上下動作を自動で行うことで、オペレーターの熟練度の違いによる、施工時間・品質のばらつきを一定に保つことができるようにする。	2	ケーシング下降時 (打ち込み時) の地盤の硬軟によるワイヤーの弛みが発生しないように、ワイヤー張力を監視して制御する方法が考えられる。実施工時のワイヤー張力がどのように変動しているかや、船体動揺やバイプロハンマーによる振動の影響などを詳細に調査して考慮する必要があると考えられる。	バイルウィンチのワイヤー張力や船体の動揺、バイプロハンマーの振動による影響を考慮して、ワイヤーに弛みが出ないようウインチドラムの乱巻きが起きないようにウインチを制御する技術が必要となると考えられる。また、上記の制御とは別に物理的にワイヤーの弛みを検知してウインチを停止するなど安全装置も求められると考えられる。	

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
サンドコンパクション船 (SCP船)	エア圧入バルブ	貫入深度計測センサ ダンパー弁開閉	2	貫入深度に応じてケーシング内のエア加压を行う。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			
	バケットウインチ	ダンパー弁開閉 シュート開閉 砂面計測センサ	2	常にケーシング内に規定の材料投入量が確保されるように自動で、上下動しケーシング内への材料投入を行う。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			
	砂貯留槽	砂排出口開閉 パイプレータ	2	ベルトコンベヤーの駆動に連動して、砂排出口を開閉し砂を排出する。砂排出中はパイプレータを運転する。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			
	ベルトコンベヤー	電動モータ 電動パイプレータ シュート開閉	2	バケットの材料供給動作に連動して、砂貯留槽から固定ホッパーへの材料の移動を行う。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			
	固定ホッパー	シュート開閉 パイプレータ レベルセンサー	2	バケットの位置及び充空に連動してシュートを開閉しバケットに砂を投入する。砂排出中はパイプレータを運転する。	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている。	2			
	エアージェット吐出バルブ	砂面計測センサ 貫入深度計測センサ	0	タイマーにてON-OFFを行う機能はあるが、砂排出の状況をオペレータで確認して操作しているため使用していない。	造成中の砂排出状況に応じて自動でエアージェットのON/OFFを行う。	1	造成中の砂面の変化を検知することで、砂排出の状況を検知し、エアージェットのON/OFFを行う方法が考えられる。	造成中に既存の砂面計測センサによって砂の排出状況を把握し、必要なタイミングでエアージェットバルブの開閉を制御する技術が必要と考えられる。	
	パイプロハンマー	貫入深度計測センサ 水深計	0	地盤境界（水中部と地盤の境界）高さを設定しケーシング深度に応じて自動で起動及び停止する機能はあるが現在使用していない。3基のパイプロハンマーが同時起動した際の起動電流値が大きく発電機容量を超えるため手動操作している	3基のパイプロハンマーの同時起動時を回避して、ケーシング深度に応じて自動で発停動作を行う。	1	パイプロハンマーの電流値を監視計測（電量計）し、順次起動となるように制御して、ケーシング深度に応じて自動で発停動作を行う方法が考えられる。	3基のパイロハンマーが同時起動にならないよう起動電流及び発電機容量を考慮して、ケーシング深度に応じて発停を自動制御し、またパイロウインチの動作とも連携する技術が必要と考えられる。	
	操船ウインチ	GNSS	2	GNSSで船体位置を計測し、あらかじめ設定された航点へ自動で操船ウインチを動作して移動する。但し、手動の移動に比べ移動速度が遅い。	手動操作と同程度の速度・精度にて設定された航点位置に自動で操船ウインチを動作して移動する。	2	操船ワイヤーの張力（ロードセル）や繰り出し量（エンコーダ）を計測し、自動で複数台の操船ウインチを同時に制御する方法が考えられる。移動速度が手動操作と同程度以上になるような対策が必要となる。	操船ワイヤーの張力、繰り出し量やアンカーの投锚位置座標に加え、風向風速、潮流の流向流速、潮位などを考慮し、船体の移動およびケーシングの位置を自動制御する技術が期待される。	自動時は同一のワイヤリングによる移動可能範囲内に限る。それ以上の移動・転船は揚船によるアンカー打ち替え作業が必要となる
	バラストポンプ	バルブ開閉 傾斜計 液面計	2	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように、バラスト量を調整する	現状の自動化レベルで必要十分な機能を果たしている	2			地盤中に杭を造成するため精度が求められる工法であり、船体の水平性を保つバラスト調整は重要となる。

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考	
プレミックス船 (PMC船)	バックホウ	ホッパーレベル計	0	土運船で運搬された土運船の浅深土砂をホッパーに放土する。掘削・旋回・放土など一連の操作はオペレータが行っており、放土のタイミングは製品ホッパーのレベル計情報からオペレータが判断する。	土運船の浅深土を把握するなど、バックホウの自動化はハードルが高く、自動化の需要はない。	0		土運船の浅深土砂をスキャンして掘削位置を自動的に選択し、時間当りの揚土量も自動制御することが望まれる。	「LORDRITE」はバックホウに設置され、重量を計測することができる。 https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KT-180023%20	
	振動篩		0	障害物除去のため1バッチの製造に際して常時運転する。	自動化の需要はない。	0				
	解泥機		0	投入された土砂の解泥を行う。	土砂の投入状況に応じて自動運転・停止を行う。	1	土砂の投入状況を検知するセンサーを追加し、解泥機の運転を操作する。	バックホウの土砂投入と解泥機への流入を判断する技術が必要と考えられる。		
	スクリーコンベヤー		2	土運船ごとの流動性試験から配合を決定し、1バッチ製造サイクル内で規定量の土量までスクリーウの回転数を制御し、ミキサーに投入する。	コンベヤーの自動制御は、現状で必要十分な機能を果たしている。	2				
	スラリープラント	水タンク 電磁流量計		2	水位センサーでタンクの水位を管理し、バルブの開閉を自動で行い、水量を確保する。水の計量は電磁流量計によって所定量をミキサーに放出する。	プラントの自動制御は、現状で必要十分な機能を果たしている。	2			
		セメントサイロ 固化材計量ビン ロードセル			計量ビンの規定量まで自動で空気輸送し、一定間隔でバグフィルタ・エアースライドが運転する。固化材の計量はロードセルで行い、ミキサーに供給する。					
		ミキサー ロードセル			1バッチの製造に際して練時間/攪拌翼の回転数を設定し自動的に計量・混合・排出を行う。	清掃作業で自動化へのニーズがある。			ウォータージェットの使用で清掃の自動化が期待される。	付着箇所の計測技術とピンポイントにウォータージェットを当てる制御、除去後を判断する技術が必要と考えられる。
	アジテーター			ミキサーで製造されたスラリーを貯蔵し、スラリーポンプで吐出する。						
スラリーポンプ	流量計	0	設定回転数（供給量）で運転する。	土量に対して自動で所定量の固化材を添加する。	2	バックホウに搭載した「LOADRITE」から揚土量データを受信し、所定の配合になるように固化剤供給量制御する。	バックホウで揚土量を正確に計測する技術と固化剤供給設備との連携が考えられる。			

3.3.3 整理表

大項目	中項目	小項目	自動化レベル (現状)	自動化の概要 (現状)	自動化のニーズ	自動化レベル (目標)	現在、あるいは 今後期待される取り組み	必要・期待される 要素技術	備考
プレミックス船 (PMC船)	圧送ポンプ	圧力計 製造ホッパーレベル計	1	製造した固化処理土を圧送する。圧送時は管内圧力に留意して配管が閉塞しないよう運転を行う。製品ホッパーの処理土量低下でポンプを停止させ空打ちを防ぐ。	プラント設備と送泥流量に応じたポンプの運転制御を行う。	2	設定流量と出来形情報（オートレッド、レーザー他）に応じた圧送ポンプの送泥流量制御が考えられる。	処理土圧送箇所の出来形計測と圧送ポンプの吐出量調整機能の連携が必要と考えられる。さらに投入箇所の現地盤情報を元にした出来形予測に繋がる教師データが求められる。	
	ディストリビューター		0	所定位置に固化処理土を打設する。	打設位置へ先端部を移動する。	1	GNSSによる位置検知機能と打設後の計測結果からディストリビューター先端位置を移動させる制御が考えられる。	3次元の地盤情報の取り込みや出来形計測技術、ディストリビューターの自動旋回を連携させた制御が必要と考えられる。	
	引寄せウインチ		0	土運船をPMC船に固縛、引き寄せるためのウインチとして使用する。土運船の積載量が少なくなると船体が浮き上がってくるため、もやいロープの取り直しを行う。	台船の浮き上がりや動揺に追従するウインチ制御を可能とする	1	張力調整機能を持ったウインチでロープにテンションがかかった際にリリースする機能を持たせる。	バックホウの作業範囲を考慮した、土運船の位置を自動的に調整する機能が必要と考えられる。	
	スパッド		0	手動で操作する。	頻繁に移動を伴う工法ではないため、自動化の需要はない。	0			
	操船ウインチ	GNSS	0	手動で操作する。		0			
	バラストポンプ	液面計 傾斜計	0	船体のトリム・ヒールを設定角度内に維持するように手動でバラスト量を調整する。	作業の性質上、船体の傾きは重要ではなく、現状レベルで機能を果たしている。	0			

▶ 土木学会建設用ロボット委員会

概要：シールド技術や海洋技術の現状と展望について研究した。

参考文献：21世紀における建設工事の自動化・ロボット化への展望21世紀における建設工事の自動化・ロボット化への展望，（社）土木学会建設用ロボット委員会、2001年6月。

▶ 米国自動車技術会（SAE：Society of Automotive Engineers）

概要：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義を設定した。

参考文献：JASO テクニカルペーパー：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義，JASO TP18004, 2018.

▶ 国立研究開発法人土木研究所

概要：建設機械の自動化レベルを提案した。

参考文献：橋本毅，山田充，山内元貴，新田恭士，油田信一：建設施工自動化技術体系図の提案について，第25回ロボティクスシンポジウム，2020.

橋本毅，山田充，山内元貴，新田恭士，油田信一：建設機械自動化レベル策定にむけて，建設ロボットシンポジウム，04-1，2019.

注）整理表の作成にあたって参考とした文献やHPについては、整理表の備考欄を参照して下さい。

< 建設施工小委員会委員 名簿 >

2024年10月8日現在（敬称略）

関 伸司 [※]	(清水建設)	小委員長	萩原 正人 [※]	(東京都下水道局)	シールド工事グループ
田中 敏成	(港湾空港技術研究所)	副小委員長	井上 英彦 [※]	(東京都下水道局)	シールド工事グループ
松本 歩 [※]	(五洋建設)	事務局長	田中 信次 [※]	(東京都下水道局)	シールド工事グループ
		海洋工事グループサブリーダー	大井 隆資	(タック)	シールド工事グループ
宮武 一郎 [※]	(先端建設技術センター)	WGリーダー	大和田 貴博	(日本工営)	シールド工事グループ
川内 大輔	(奥村組)	陸上工事グループサブリーダー	小汀 史泰	(日本シビック)	シールド工事グループ
丸山 修	(大成建設)	陸上工事グループ	鈴木 正憲	(清水建設)	シールド工事グループ
佐野 和幸 [※]	(大成建設)	陸上工事グループサブリーダー	田中 孝行	(東亜建設工業)	海洋工事グループサブリーダー
三浦 悟	(鹿島建設)	陸上工事グループ	廣井 康伸	(五洋建設)	海洋工事グループ
梅田 進一	(コマツ)	陸上工事グループサブリーダー	熊 天幸	(あおみ建設)	海洋工事グループ
月本 行則	(酒井重工業)	陸上工事グループ	延田 篤彦	(東洋建設)	海洋工事グループ
田嶋 義隆	(西尾レントオール)	陸上工事グループ	榎本 孝 [※]	(東洋建設)	海洋工事グループ
春田 俊哉	(フジタ)	シールド工事グループサブリーダー	山田 昭洋 [※]	(東洋建設)	海洋工事グループ
坂下 誠	(前田建設)	シールド工事グループサブリーダー	小倉 弘	(日立建機)	海洋工事グループ
辻 利徳	(大林組)	シールド工事グループ	高塚 浩	(若築建設)	海洋工事グループ
林 成卓 [※]	(大林組)	シールド工事グループ	中根 亨	(国土交通省)	
松原 健太 [※]	(大林組)	シールド工事グループ	吉田 真人 [※]	(国土交通省)	
野口 聡	(東急建設)	シールド工事グループ	味田 悟 [※]	(国土交通省)	
田中 悠一 [※]	(東急建設)	シールド工事グループ	川俣 裕行	(先端建設技術センター)	
高山 章大	(東京都下水道局)	シールド工事グループ	橋本 毅	(土木研究所)	
澤田 貴矢 [※]	(東京都下水道局)	シールド工事グループ	喜寿 司	(港湾空港技術研究所)	

注) 本活動を開始した令和2年度第1回建設施工小委員会（2020年7月14日）以降の委員活動期間中に途中交代した元委員（※印を付したもの）を含む

本活動の実施に際しまして、2023年12月1日にご逝去されました関伸司様におかれましては、建設施工小委員会の小委員長として、長きにわたり、ひとかたならぬご尽力をいただきました。ここに記して深謝の念を表します。