

16 情報化土工 (IT 土工)



1 情報化土工 (IT 土工)

国土交通省情報化施工促進検討委員会(2001)の定義
建設CALS/EC 建設省が推進した情報化(電子入札、電子納品)施策。国土交通省になって、旧運輸省の港湾CALS、空港施設CALSを統合して、CALS/ECと呼称変更。CALSは、Continuous Acquisition and Life - cycle Supportの略。

ISOでは、ISO / TC127 / WG2(情報化施工機械土工)が設置され、国際標準化に向けて規格などの調整が行われている。

情報化施工という言葉が最初に使われたのは、土留め工などの観測施工の分野であるが、その後その概念が拡張されてきた。

現在では「情報化施工とは、情報化技術を建設施工に適用して、多様な情報の活用を図ることにより、施工の合理化をはかる生産システムである。」とされており、CALS/ECを含めたライフサイクルを考慮した施工の合理化を図る概念となっている。

戦後、わが国は建設工事に機械化施工を導入してきた。土工の分野でも既に機械化は達成し、CALS/EC導入と共に情報化施工技術が本格的に採用されつつあり、やがては自動化施工の到来も期待されている。図 16.1 に情報化施工技術による土工のイメージを示した。

IT土工の要素技術を表 16.1 に示し、代表例として仕上げ整形技術とGPSを用いた締固め管理技術を説明する。

表 16.1 IT土工の要素技術

<ul style="list-style-type: none"> ・ RTK - GPS : Real Time Kinematic - Global Positioning System ・ D - GPS : Deferential - GPS ・ 自動追尾トータルステーション (TS) ・ 3次元CAD 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GIS ・ 無線LAN ・ 高速・大容量通信技術 ・ 3次元レーザプロファイラ
---	--

1. 仕上げ整形技術

仕上げ整形の効率化のために、丁張りレスを実現する各種の機器が開発され、回転レーザを利用した仕上げ整形は圃場整備工事では一般的なブルドーザの装備となっている。また、近年にはGPSや自動追尾TS(トータルステーション)を利用して原地盤高を捉え、設計CADデータと照合してディスプレイに表示するブレード操作支援装置などが開発され、ブルドーザ、グレーダ、バックホウなどの仕上げ機械への搭載が大規模土工で始まっている。そして、一部では作業装置の自動制御も実施されている。

図 16.2 に自動追尾TSによるブレード自動制御システムの例を示す。

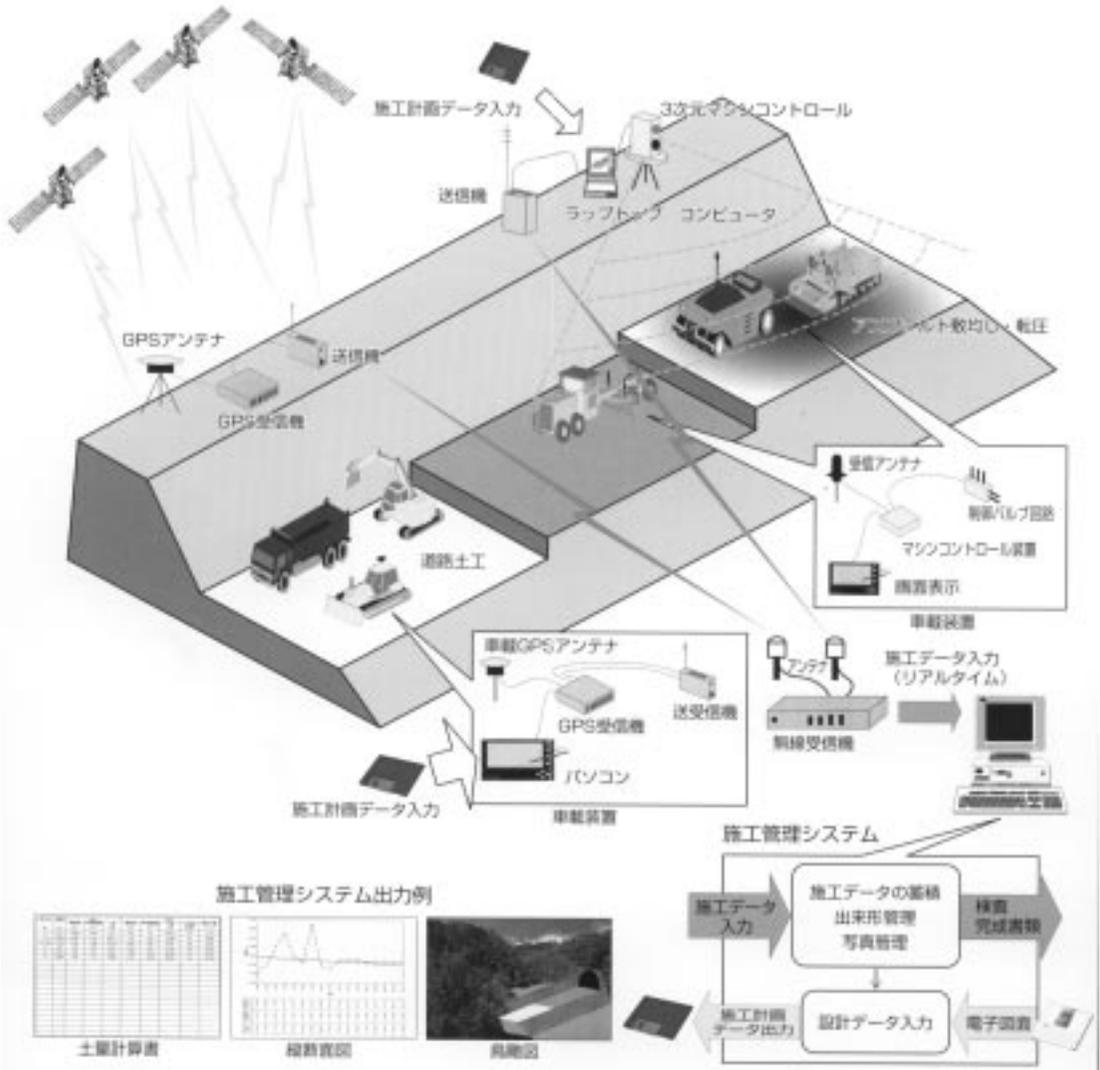


図 16.1 情報化施工による工事のイメージ図

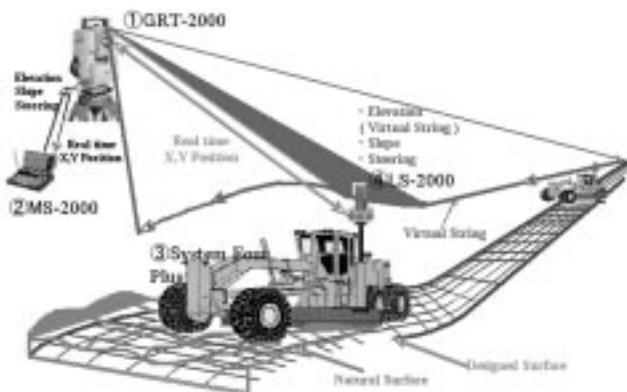


図 16.2 自動追尾TSによるブレード制御

1. 3次元CADとCG

地形図をDTMとしてデジタル化すると、3次元地形CADで施工計画のツールとして利用できる。原石山のベンチ展開計画や工用道路計画が行え、鳥瞰図^{ちようかん}としてCGを施工検討のために施工シミュレーションやプレゼンテーションに利用できる。3次元地形CADのサーフェス処理は、グリッド方式から三角パッチを張るTINが一般的となっており、シェーディング処理によるCG鳥瞰図が作成できる。将来は、VR技術を利用したウォークスルーなどでの施工検討も一般的になる。



写真 16.1 3次元コンターとTIN

2. 走行シミュレーション

搬土機械のサイクルタイム算定や計画した工用道路の評価に走行シミュレーションが利用できる。また、ダンプトラックなどの搬土機械の待ち行列の評価や搬土機械台数の決定などに待ち行列シミュレーションが用いられる。

組み合わせ機械の施工においては、積込場や盛立場では、積込待ちやダンプアップ待ちの行列が発生する。ダンプトラックの所要台数を決定する場合、通常の作業量算定式で計算を行うとグラフ(図16.4)の実線のように、ダンプトラックの台数増加に比例して搬土量(グラフではシヨベル効率で表示)は直線的に増加し、積込機の作業能力を限界として頭打ちとなる。しかし、実際にダンプトラックの台数を変化させて運搬量を測定すると破線のような曲線になる。増車にともなって待ち行列が発生するからである。

DTM Digital Terrain Model (数値地形モデル)

DEM Digital Elevation Model (数値標高モデル)

CG コンピュータグラフィック

TIN Triangulated Irregular Network (不整三角形網)

シェーディング 3次元グラフィックにおいて陰影をつけること

VR バーチャルリアリティ

待ち行列 銀行の窓口での待ち行列のように、サービスを受けるための待ち行列。機械土工では、積込場でのダンプトラックの待ち行列などがある。

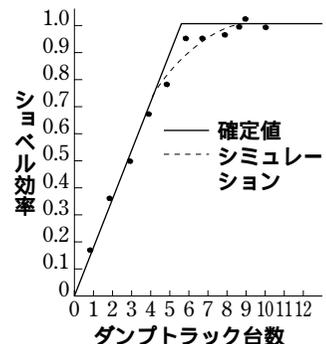


図 16.4 積込機とダンプトラック台数の関係

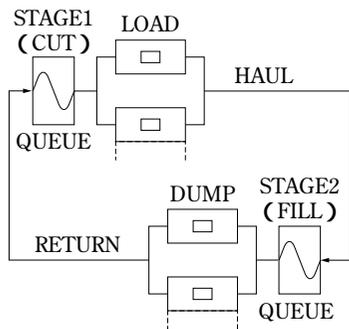


図 16.5 循環型待ち行列モデル

搬土機械の待ち行列モデルは循環型待ち行列となり、図 16.5 のようなモデルに表せ、その確率分布は図 16.6 のようなアーラン分布となる。類似現場の稼働動態調査などで得たデータを利用すれば、コンピュータによる待ち行列シミュレーションが行え、より正確なサイクルタイムや所要台数の決定に利用できる。

また、待ち行列シミュレーションは、走路が狭くてダンブトラックの離合時の待ち行列が多く発生する現場でのサイクルタイムや所要台数の算定にも有効である。

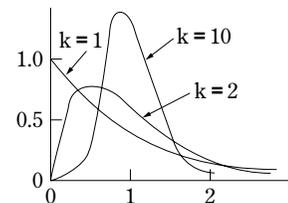


図 16.6 アーラン分布

3 無人化施工

無人化施工とは、人間が立ち入ることのできない危険な作業現場において、遠隔操作が可能な建設機械を使用し、作業を行うことをいう。無人化施工で行う工事には、災害発生直後の被害を最小限に食い止めることを目的とした「応急対策工事」と、災害がある程度沈静化した後に行う本格的な「復旧工事」がある。

1. 建設機械のラジオコントロール

建設機械のラジオコントロール(テレコントロール)は、通常 429MHz 帯の特定小電力無線を使う。ラジオコン装置の基本構成は、図 16.7 のようになっている。

ラジオコンの操作可能範囲は、特定小電力無線局の出力が 10mW 以下なので公称 100m、条件が良ければ 300m 程度は可能である。しかし、作業対象がよく視認できないと遠隔操作は難しいので、遠くの場合には映像が必要となる。

429MHz 帯の特定小電力無線局は 40 チャンネル使えるので、同じ場所で複数台のラジオコン建機を使うことができる。多数のラジオコン建機を使う場合は、電波障害、混信などについての実地検証が必要となる。

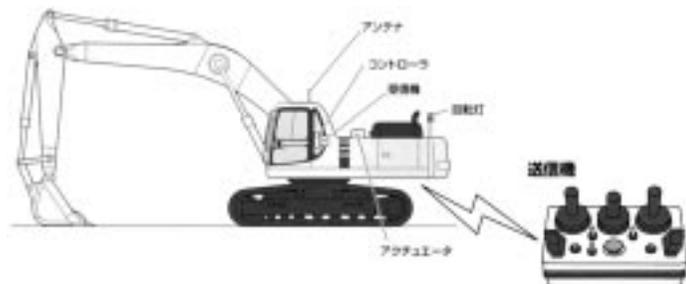


図 16.7 ラジオコン装置の基本構成

2. 基本的システム構成

(1) 近距離（50m以下）

近距離では、目視による特定小電力429MHzを使ったラジコン操作が基本となる。目視で遠隔操作ができる場合は、図 16.8 のような簡単な構成でラジコン操作が行える。映像なしの目視による遠隔操作の可能距離は、大雑把な作業ほど遠くてもよいが、細かい作業になるほど近づくか映像が必要となる。



図 16.8 目視操作の場合

(2) 中距離（300m以下）

見通しが良好な中距離でのラジコン操作は、特定小電力429MHzを使用し、映像伝送には次の3方法がある。

a) 50GHz簡易無線による映像伝送

映像伝送には、微弱電波と50GHz簡易無線が用いられていたが、前者は無指向性であるが到達距離が10数mと短く、後者は2～3kmの伝送が可能であるが、指向性が極めて鋭いため移動体伝送には向いていない。そこで、データ伝送用の50GHz簡易無線を以下のように工夫して使うことが一般的となった。指向性が強いので、アンテナを相対指向させる。近距離の場合は、狭指向性のカセグレインアンテナ（利得：40dB、半値幅：1.5°）を外し、コニカルホーンアンテナ（利得：20dB、半値幅：17°）だけで指向性を拡げる（写真 16.2 参照）。一般的には、移動体側のみコニカルホーン仕様とする。



写真 16.2 50GHz簡易無線

コニカルホーンアンテナ 指向性（17°）のある1次放射器で、カセグレインアンテナは1次放射器からの電波を前面で反射させてパラボラで再反射させることによって鋭い指向性（1.5°）を得るアンテナ。

バックホウに搭載する場合は、アンテナを常に一定方向に向けさせるために、アンテナ架台を機械の旋回に対して反転させる反旋回装置が必要である。また、車載カメラの雲台は、耐振強化が求められる。

MMB : マルチメディアボックス
 DAV Modem : 映像モデム
 CDT : 遠隔制御信号 (40ch)
 INTFC : インタフェース



図 16.9 50GHz 簡易無線による映像伝送の基本構成

b) 水平無指向50GHz 簡易無線による映像伝送

50GHz 簡易無線を使うが、移動体側に水平無指向 (オムニ) アンテナを使用する。このため、バックホウのアンテナ反旋回装置は不要となる。図 16.10 に同システムの構成例を示す。

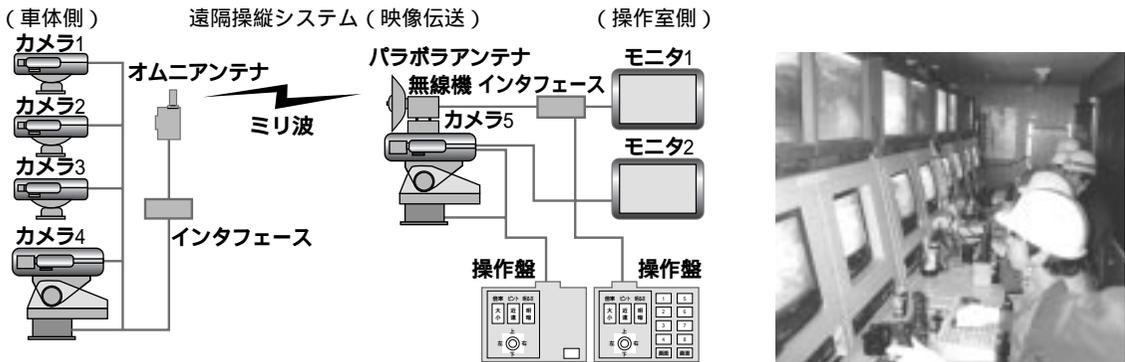


図 16.10 水平無指向 50GHz 簡易無線の構成

c) 2.4GHz 小電力データ通信による映像伝送

映像伝送に 2.4GHz 小電力データ通信を用いる場合の構成例を図 16.11 に示す。移動体側で無指向アンテナを使用し、バックホウのアンテナ反旋回装置を不要とする。

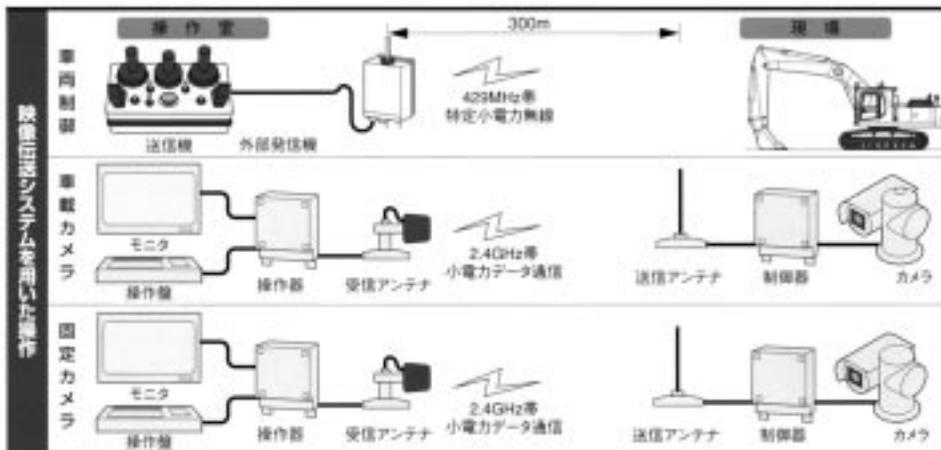


図 16.11 2.4GHz小電力データ通信の場合の構成

(3) 遠距離 (3km 以下)

遠距離ではラジコン、映像伝送共に図 16.12、図 16.13 に示すように50GHz簡易無線で中継する。

送受信機双方にパラボラを装着し、カセグレインアンテナとして、指向性を絞り利得を稼いで伝送距離を伸ばす。ミリ波は酸素と水に吸収され減衰する特性があるので、降雨中や霧などの気象条件によって伝送距離が変わる。また、移動体と中継機との映像伝送は前記の3通りが可能である。

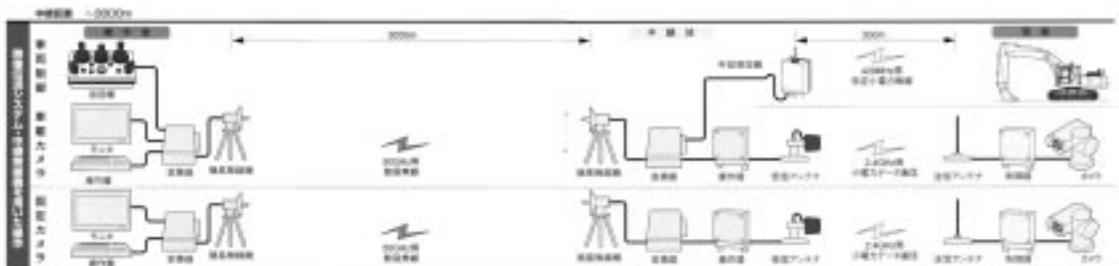


図 16.12 電波中継例1

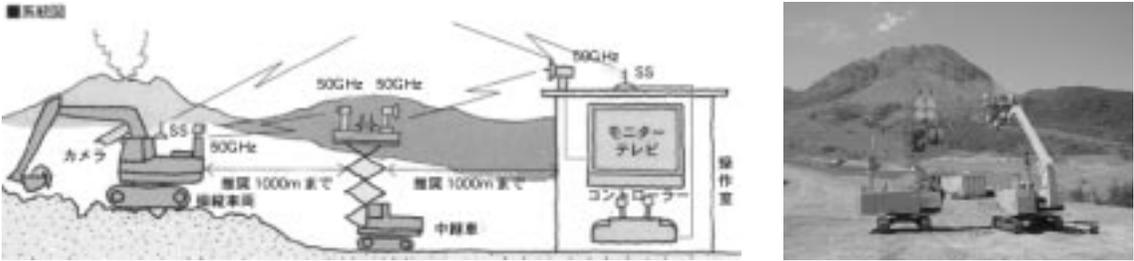


図 16.13 電波中継例2

(4) 有線中継 (800m 以下)

距離が800m以下ではコントローラ（操作室）とアンテナ間の有線（ケーブル）を延長することもできる。複数のラジコン建機を操作したい場合は、図 16.14 のように多重伝送装置でケーブルを伸ばし、中継地から429MHz（特小）で発信する。

50GHz 簡易無線で見通しがきかない場合やケーブル設置が可能な場合など、ケーブル設置が有利な場合に適用する。800m 以上の場合は、光ファイバケーブルを使用すると10km までの延長が可能である。

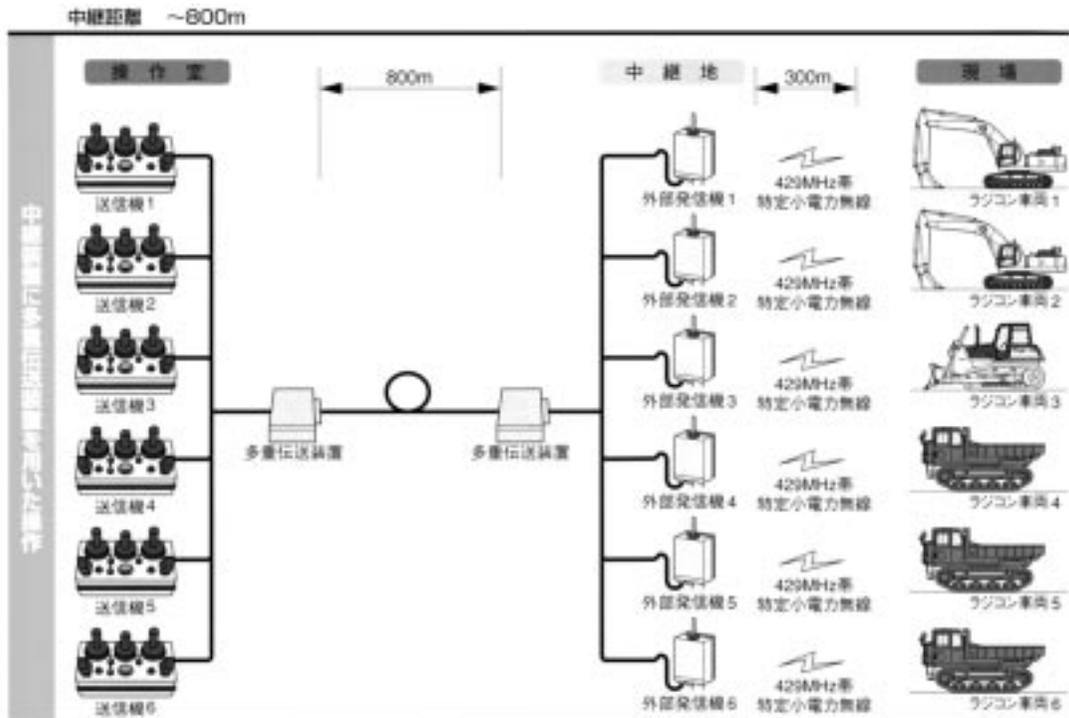


図 16.14 有線中継

3. 工事への適用例

無人化施工は、普賢岳、有珠山、三宅島、中越地震などで実施され、全国各地の砂防工事でも100件以上の実績がある。

(1) 雲仙普賢岳復興工事

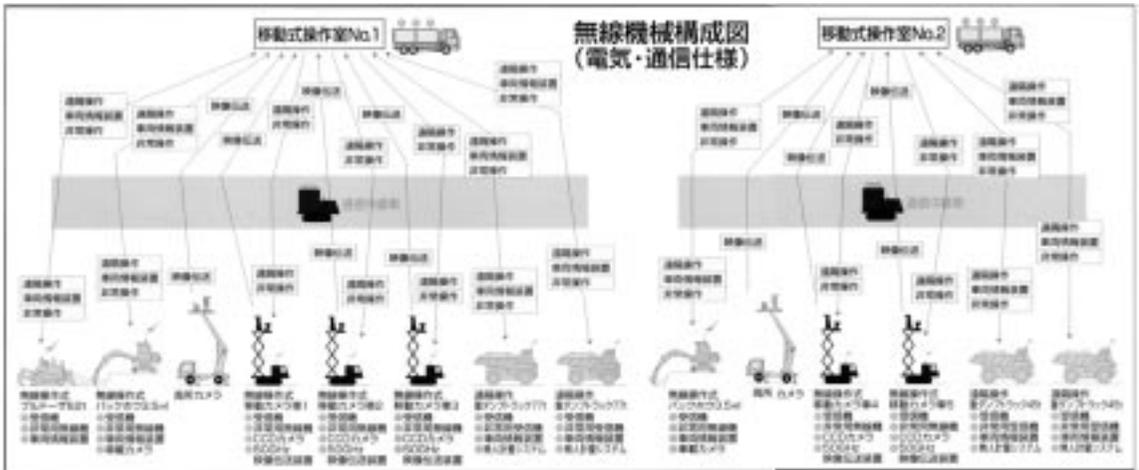


図 16.15 無線機器構成

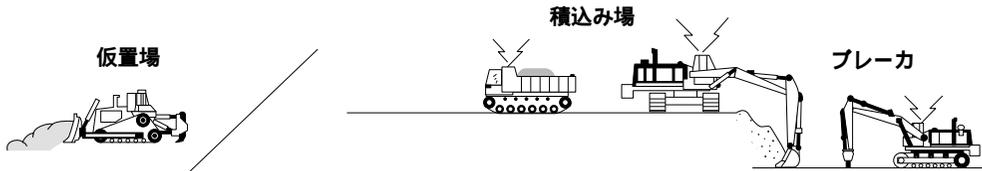
1990年に長崎県雲仙普賢岳が198年ぶりに噴火活動を再開し、1991年には土石流・火砕流発生による大災害となった。そこで遊砂地・導流堤・砂防ダムなどの安全を確保した施工法が検討され、1994年1月からまず除石工事の無人化施工が実施された。その後の継続工事で電波中継による遠距離操作システムが開発され、また、掘削運搬作業だけでなく、RCC 砂防ダム構築、ブロック積み、生コン打設、鋼製スリット据付け、測量などの無人化施工技術に発展した。

その他の工事でも急斜面掘削用の懸垂式バックホウ、モルタル吹付機、ラフテレーンクレーンのラジコン機が開発された。

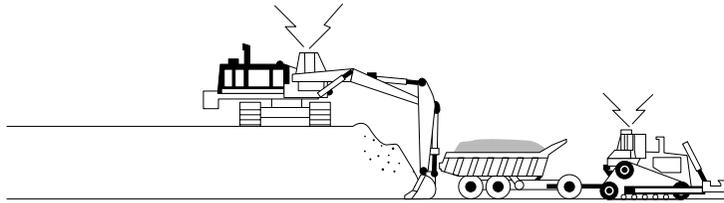
また、汎用建設機械をラジコン化するための空圧アクチュエータによるレバー直動型の簡易操縦装置や人間型のヒューマノイドロボットも開発されている。

RCC (Roller Compacted Concrete) 振動ローラで締められた貧配合のコンクリート、RCD (Roller Compacted for Dam) よりも更に貧配合である。

(2) RC 建機の編成例



(a) クローラダンプとの組合せ



(b) キャリオールダンプとの組合せ

図 16.16 RC 建機の編成例

4 自動化・建設ロボット

図 16.17 に建設機械の発達過程を示す。建設機械の自動化への取り組みは60年代に始まり、80年代になると「建設ロボット」という呼称とともに自動化が推進された。背景として、ロボット導入による製造業での生産性向上に刺激されたことやマイクロプロセッサの登場による技術革新と急激な普及が機械の知能化への可能性を示唆したことにあった。制御法もアナログ制御からデジタル制御に移行し、メカトロ化を推進した。一方、高齢化・熟練労働者の不足・生産性向上などの面からも建設機械の自動化・ロボット化が要請され、建設ロボットブームが到来した。初期に開発された建設ロボットは、位置計測が容易な左官ロボット・清掃ロボット・壁面ロボットなどの構造化された環境下での平面移動型の建築系ロボットであった。

土工機械では、70年代に電磁誘導ケーブル方式による無人ダンプトラックが開発され、80年代末期にマイコン制御による無人ダンプトラックが出現した。自動化には建設ロボットのように、今ある個々の建設機械を自動化する方法と連続土工システムのように全体の自動化を目指す2つのアプローチがある。

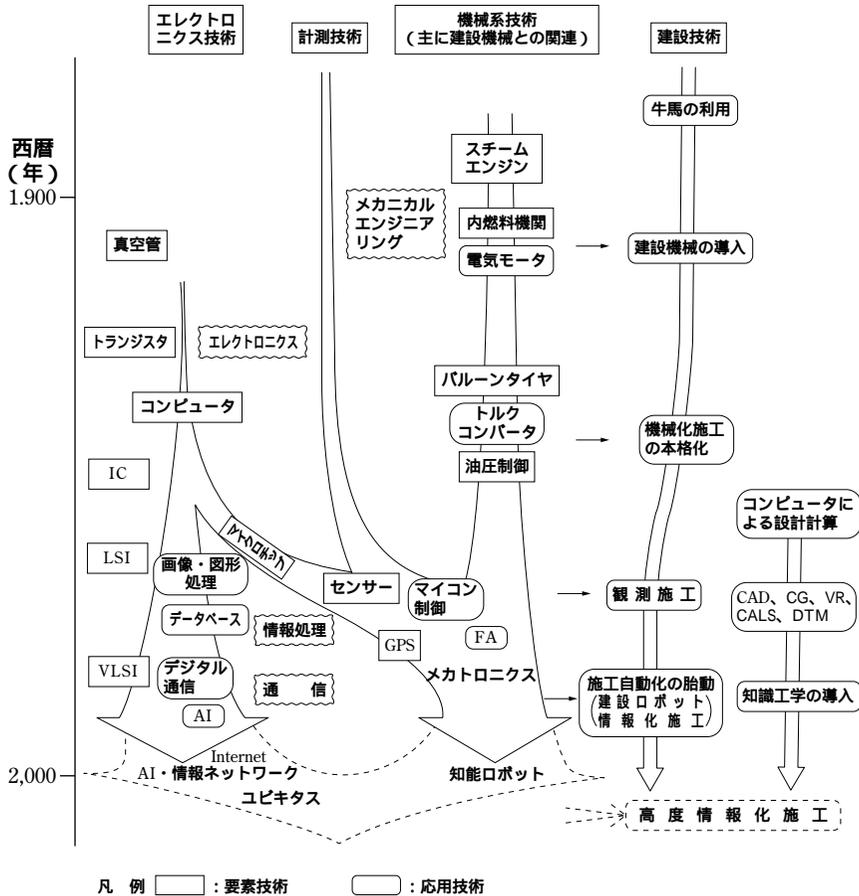


図 16.17 建設機械の発達

1. 自動化技術

土工機械の自動化 を大きく2つに分類すると作業装置系と走行系に分けられる。作業装置系のブレード操作は熟練を要するため、早くから自動化の研究が進められていた。回転レーザを利用した整地作業のインジケータは、70年代に米国で実用化し、圃場の拡大に威力を発揮した。日本でも今日、圃場整備では一般的な装備となっている。そして、最近では自動追尾TS（トータルステーション）やGPSを利用したブレードコントローラが多い。これらのブレード自動制御も軽負荷の仕上げ制御用が主で、掘削などの重作業では、非線形制御要素が多く実用化には至っていない。こんな中、1994年に姿勢制御を重視したブレード自動制御が開発され、マルチオペレーション法と共に注目される（図 16.18）。

は次頁欄外参照。

2. 将来

センシング技術と知能化が進展すれば、個別の自律機能を高めると共に協調制御へと進む。まず、自動走行においては、単なる車両誘導制御から閉塞制御による車間維持、衝突・追突防止の保安制御が必要となる。次に、交差点制御、合流部の織り込み、障害物回避などのアルゴリズムを付加した交通管制や積込との協調制御などの群制御の段階に発展する。

図 16.20 はミリ波を利用した遠隔監視制御システムである。ミリ波電波灯台方式による位置認識システム、ミリ波障害物検知装置とミリ波データ通信装置などから構成される無人走行システムで、最適配車計画や運行管制などの群管制実験を行った例である。

近年、土工操作系のヒューマンインタフェースは、電子化に伴いローダのジョイスティック 採用やブルドーザのフィンガーコントローラなど画期的な改善がみられる。そして、運転席の計器類も航空機と同様にグラスコクピット 化が始まろうとしている。

GPS 自動走行については、1996年頃から海外各社で研究が進められ、まもなく実用化に入ろうとしている。

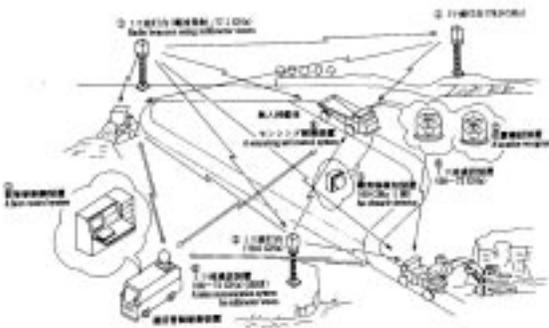


図 16.20 ミリ波による遠隔監視制御システム

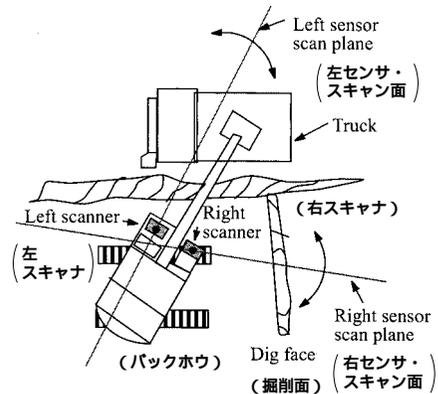


図 16.21 自動掘削・積込
(カーネギーメロン大学ロボット研究所)

図 16.21 はバックホウに2基のレーザレンジセンサを搭載し、掘削材とダンプトラックの形状を認識して自動積込ができるシステムである。バックホウの他ローダ積込の研究も行っている。また近年、自動ロードホルダンプが商品化されている。

自動化・省人化を進めていくと中央管制センターでの情報処理も瞬時に状況把握が行えるMMIや迅速な意志決定支援のために意志決定理論や最適化理論の導入が重要となってくる。また、HUD やグラスコクピットの利用が将来進むと考えられる。

ジョイスティック 操縦桿

グラスコクピット 操縦席の計器類をディスプレイに表示したものの

MMI (マンマシンインタフェース)
HUD ヘッドアップディスプレイ、虚像表示をフロントガラスに映し出す技術

引用・参考文献

- 1) 常田賢一、芝崎亮介：「建設技術の高度化の現状と課題」、土木技術資料1988.2、(財)土木研究センター
- 2) 岡本直樹：「大規模土工の近未来風景」建設の機械化2003.1、(社)日本建設機械化協会
- 3) 「建設機械施工ハンドブック」、(社)日本建設機械化協会、2001
- 4) Anthony Stentz, Jhon Bares, Sanjiv Singh, Patric Rowe：「A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading The Robotics Institute」Carnegie Mellon University、1998
- 5) 「情報化施工 リーフレット」、建設省・情報化施工促進検討委員会
- 6) 「Topcon 3Dimensional - Machine Control」、(株)トプコン
- 7) 「転圧締固め管理システム リーフレット」、「無人化施工通信システム リーフレット」、西尾レントール(株)
- 8) 「ラジコン仕様車 パンフレット」、コマツ、2001
- 9) 「50GHz 簡易無線装置パソリンク 50MM 資料」、NEC ワイヤレスネットワークス(株)
- 10) 「遠隔操縦システム リーフレット」、日立建機(株)
- 11) 「雲仙普賢岳 赤松谷川除石工事 パンフレット」、西松建設(株)

環境倫理という思想

倫理とは、道徳的概念であり、本来、人と人との間で守るべき秩序とされる。「環境倫理」とは、人間同士の関係を律する倫理の考え方を人間と自然との関係を律する思想に拡張するもので、人が自然環境に対して守るべき規範ともいうべきもので「人は自然環境の一部を成すもので、動植物とその生存を支える無機物も同じ価値を有する」という生命哲学的概念である。

1993年に制定された環境基本法では、空間軸・時間軸・生物軸において下表のような理念の変革や政策手段の変更などがなされたが、これは環境に対する価値観の変革ともいえる。従来、環境の価値は、経済的豊かさの素材や資源としての「経済的価値」に注目していたが、癒しや景観美としての「審美的価値」と生物種の多様な存在そのものを尊重する「倫理的価値」が価値観に付加された。

環境基本法(1993)における環境理念の変革

政策手段の変更

考察軸	変革の方向	視点(倫理観の拡大 環境倫理)
空間軸 (1条)	国民生活(公害低減) 人類の福祉 地球環境保全	自国のつけを他国に回さない(地球規模での貢献) 循環型社会(リサイクルセロ エミッション)
時間軸 (3条) (4条)	環境恵沢の享受 恵沢の継承 開発 持続的発展	現代のつけを次世代に回さない(子孫に迷惑をかけない)
生物軸 (2条) (14条)	自然との触れ合い 生物多様性 生物種の保存	人間のつけを他生物に回さない

変更項目	内 容
原因活動の 回避	エンドパイプ・結果対応 ライフスタイルや社会システムの変更 (負荷発生活動の抑制、成長管理)
多様な生産 手段の活用	規制、環境アセスメント、Incentive、環境税 (環境に良い行動をした場合の経済的メリット)
あらゆる 主体の活用	国、自治体、事業者、国民、NPO、NGO (関係者すべてが各々の責任を果たす)
環境計画の 上位化	法的位置付け...環境基本計画の策定 環境庁 環境省 環境基本法15条)

(基本法の位置付け...憲法と個別法の間に位置する)
(1967年公害対策基本法、1972年自然環境保全法)

実際には、これらの価値にどの程度の重みを付けて社会的便益と環境配慮のバランスをとって環境を保全・管理するかが課題である。環境影響評価法（1997）の基本精神も環境倫理をもとにして

いる。
建設関連学・協会ではそれぞれの倫理規定・綱領^{こうりょう}などで環境倫理に関して下表のような記述をしている。同表のように、技術者は知識と技能を資源として論理（科学的合理性）と倫理（技術者倫理）にもとづいて価値判断し、最良の行為を行うことが肝要であるが、その倫理には人倫^{じんりん}だけでなく環境倫理・情報倫理・生命倫理の三つの倫理が含まれる。

学・協会における環境倫理への対応の表現

学 協 会 名	環 境 倫 理 に つ い て の 記 述
(1) 土木学会 〔土木技術者の 倫理規定:1999〕	<p>（基本認識）</p> <p>2. 現代の世代は未来の世代の生存条件を保証する責務があり、自然と人間を共生させる環境の創造と保存は、土木技術者によって光栄ある使命である。</p> <p>（倫理規程）</p> <p>土木技術者は</p> <p>1. 「美しい国土」、「安全にして安心できる生活」、「豊かな社会」をつくり、改善し、維持するためにその技術を活用し、品位と名誉を重んじ、知徳をもって社会に貢献する。</p> <p>2. 自然を尊重し、現在および将来の人々の安全と福祉、健康に対する責任を最優先し、人類の持続的発展を目指して、自然および地球環境の保全と活用を図る。</p> <p>6. 長期性、大規模性、不可逆性を有する土木事業を遂行するため、地球の持続的発展や人々の安全、福祉、健康に関する情報は公開する。</p>
(2) 地盤工学会 〔地盤工学会 倫理綱領:2002〕	<p>2. 【自然に対する態度】</p> <p>自然に対して謙虚に接し、その適正な活用と地球環境の保全に努める。</p>
(3) 建設コンサルタンツ協会 〔建設技術者の倫理：2000〕	<p>1. 宣言</p> <p>(2) 現在および未来の人々の安全、健康、福祉に対する責任を自覚し、自然および地球環境の保全と活用を図る。</p>
(4) アメリカ土木技術 協会（ASCE） 〔ASCE理事会による 方針声明書No.120〕	<p>ASCEは、土木技術者一人ひとりが、次の目的のために奉仕するように勧告する。</p> <p>目的：</p> <p>1. 土木技術者は、設計に生態的配慮を取込む知識および能力を高める自分の努力が、環境に効果があることを認識しなければならない。</p> <p>2. 土木技術者は依頼者に、依頼された業務による受益と、選択された設計による受益とを比較して、環境への影響を通知しなければならない、責任のもてる行動のみを推薦する。</p> <p>3. 土木技術者は、環境への配慮を実行する技術者一人ひとりの努力を支援する協会内部の仕組みを十分活用しなければならない。</p> <p>4. 土木技術者が緊急の必要性を認識しなければならないのは、効率的な政府施策の立案、修正、および支援を先導して、適切な環境保護を保証すると同時に、過度の規制から生ずるおそれのある経済の停滞を避けることである。</p>

（出典）今村遼平「技術者の倫理」、鹿島出版会、2003、p.164