

# ドリルジャンボの新技术 海外編

## RCS (リグコントロールシステム) によるコンピュータ制御

鏡田 昌孝

近年、海外のトンネル施工や地下鉱山では掘削作業をより効率化し生産性の向上を図るために最新鋭の施工機械を導入する事例が増加している。

掘削作業の主要機械であるトンネルジャンボは、施工環境の厳しさから長い間油圧ダイレクト制御が採用されて来たが、機能の高度化のニーズに対応するため自動車など産業界で実用化されたコンピュータ制御の技術を活用した技術開発が進められた。実用化後 10 数年を経て今日ではより高い生産性へのニーズに応え機能と耐久性が評価されている。

本報では、コンピュータ制御技術の開発経緯とこの技術を搭載したドリルジャンボの概要を紹介する。  
キーワード：山岳トンネル、発破工法、さく孔技術、ドリルジャンボ、コンピュータ制御、情報化施工

### 1. はじめに

1998年にさく岩機のコンピュータ制御システム（リグコントロールシステム、RCS）が実用化されトンネルジャンボに搭載された。当時のトンネル掘削技術としては画期的な技術革新であったが、それ以降もより速く高精度なトンネルさく孔を実現する技術—高精度トンネル掘削（High Precision Tunnelling, HPT）としてさく孔のコンピュータ化と自動化が進められてきた。

今日では 1,000 台以上の RCS 搭載穿孔機が世界各地のトンネルプロジェクトや地下鉱山で使用され穿孔機の標準仕様となりつつある。

RCS はドリルジャンボへの搭載に止まらず、坑内運搬リグや明かり用穿孔機にも活用されるようになり、これらのリグと事務所間をワイヤレスオンラインで繋ぐことでさく孔・運搬プロセスの計画、運転、評価を実現するさらに高度なシステムへと展開が図られている。

### 2. RCS (リグコントロールシステム) の概要

#### (1) RCS の開発経緯

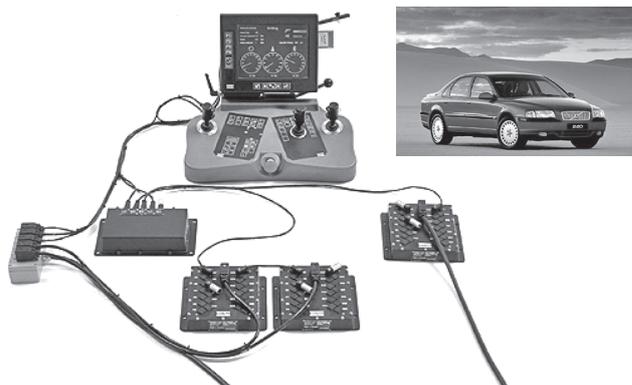
RCS の開発は、1980 年後半に当時自動車産業では一般的に採用されていた CANBUS システムからヒントを得てスタートした。CANBUS システムは、窓の上げ下げ、ミラーの自動調整、ブレーキなど多数の機能につながっているケーブルとセンサーで構成されていたが、これをドリルリグに取り入れようと考えたの

が始まりである。

当初の課題は各機能を繋ぐケーブル本数が多すぎることで、ドリルリグに必要なケーブル本数（一般的な車で 200 本）とその重量を考慮すると大幅な削減が必要となった。

システム的大幅な見直しの結果、現行の基本構成となるメインコンピュータ（AP モジュール）1 台、ドリルリグとセンサーに取付けた補助コンピュータ（I/O モジュール）数台をメインケーブル 1 本で繋ぐというシステムが開発された。

メインコンピュータは補助コンピュータと通信し最適な判断を行い、各補助コンピュータはブーム操作といった主要コンポーネントを個別に制御する。補助コンピュータがメインコンピュータからの指示を実行すると、コンポーネントの動きはセンサーで検出されその出力はメインコンピュータに集積・分析される。



写真—1 RCS 機器構成

RCSの本格的な開発は1990年に開始され8年をかけて第一世代のRCS搭載2ブームホイール式ドリルジャンボ「ブーマーL2C」が完成した。

基本構成は実現したものの操作全般にわたり完成したものではなかったため、コンピュータ制御はこの時点ではオペレータの経験を超える評価は得られなかった。しかし、機能が拡充されればオペレータの運転を支援する有効なシステムになるとの成果と自動化システムへの可能性を示した。

この結果コンピュータ技術や通信技術の進展に伴ってRCSもアップグレードされ、第二世代のRCSプラットフォーム搭載のドリルジャンボは2000年～2001年に製品化された。

その後他の坑内用機械や明かり用機械への導入を進め、2002年～2006年には坑内用ショベルローダー、試錐機、レイズボラなどに第三世代RCSを、2007年～2010年にダイヤモンドコアドリルリグやロータリーブラストホールリグに第四世代RCSプラットフォームが搭載され、現在では製品の全機種に同じRCSプラットフォームが使用されている。

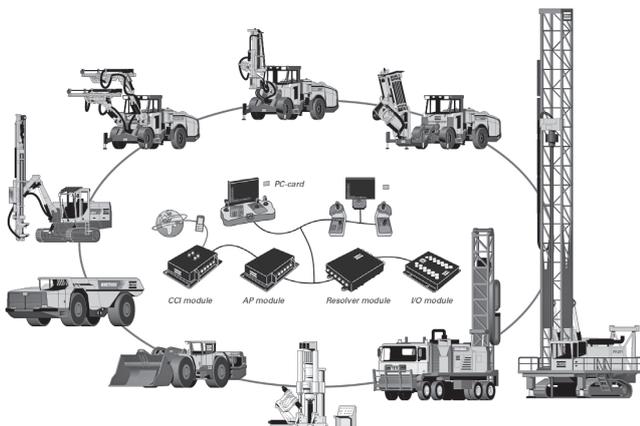


図-1 RCSプラットフォームのイメージ

次世代のRCSは生産性の向上のために、機械操作性の改良だけではなく稼働中の各機械を効率良く連動させる手法の開発にポイントを置いている。また事務所とオペレータ、作業関係者が稼働情報を共有し、結果を記録・分析できるような情報の活用、情報化施工を可能とするプラットフォーム開発を目指している。

## (2) RCSの特徴

RCSの特徴をまとめると以下の通りである。

### ①すべてのリグに共通のプラットフォーム

システムコンポーネントが共通なため、現場に在庫するスペアパーツを削減できる。

### ②産業用に確立された標準仕様

多くの採用実績をもつ信頼性の高いシステム。

### ③グラフィカルなマンマシンインターフェイスとマルチ言語の表示サポート

オペレータが操作しやすく、どのRCSマシンも習得・操作が容易。別の機械への交代も容易。

### ④組込診断システム

故障発見と機械保守が容易で作業時間を短縮。

### ⑤アップグレードが容易なモジュラー構造

ユーザーズに応じた機能の拡張性

## 3. RCSドリルジャンボ

### (1) ドリルジャンボ用RCSの概要

#### (a) 標準機能

一つのパネル操作でリグ上のブームやフィードのポジションング、さく孔位置やさく孔作業を制御することができる。

RCSの標準機能は以下の通りである。

#### ①標準および制限値のシステムへの入力

掘削に必要な標準値と限界値は、操作パネルから入力、変更される。この作業は適切な訓練を受けた権限を持つ担当者によって行われることを基本とするため、アクセスレベルをオペレータ用日常操作レベルと、サービスエンジニア用機械保守レベルの2段階に設けている。

#### ②さく孔作業の制御

ドリルジャンボの役割は、高速かつ低コストで正確にさく孔することにある。手動で作業を開始してもRCSに組み込まれた多くの作業手順がさく孔を制御する。フィード速度とフィード力の正確な比例制御は、ロッドの曲がりやを最小限に抑え無理の無いカラーリングを可能にし、また孔の直進性とロックツールの寿命を向上させる。

カラーリング設定圧力での掘削は、オペレータがジョイスティックを放した後も所定の時間継続する。その後圧力は設定時間内に設定最大圧まで上昇する。

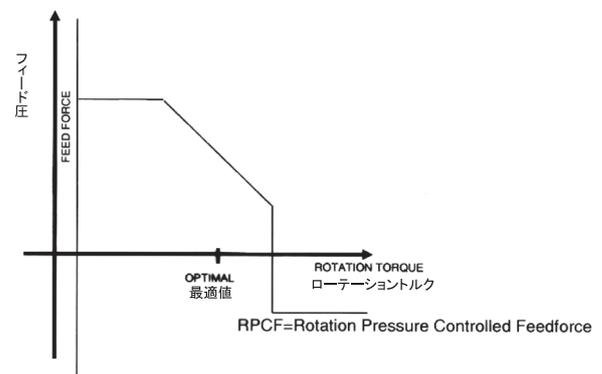


図-2 RPCF概念図

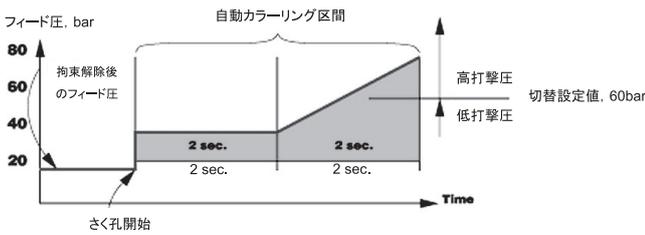


図-3 FPCD 概念図

所定の深さに到達していればさく孔を停止し削岩機を引き戻す。カラーリングを含むすべてのさく孔過程で、回転圧力に基づくフィード圧制御 (Rotation Pressure Controlled Feed pressure, RPCF) とフィード圧力に基づく打撃圧制御 (Feed Pressure Controlled Impact pressure, FPCI) は同時にさく孔速度を最適化し、ロックツールがジャミングすることを防止する。

③組込診断システム

電子部品のための高度な故障診断システムが組み込まれている。電子機器に故障の疑いがある場合、オペレータはディスプレイを一連操作で切り替えて故障の原因を特定し迅速な修理が可能となる。これにより機械の故障による停止時間が削減され、稼働時間が向上する。

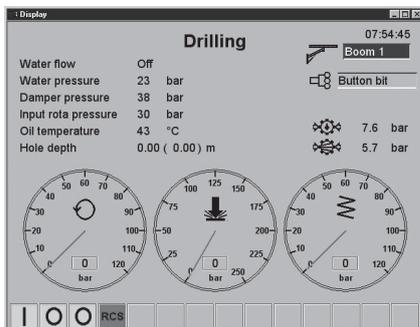


図-4 ディスプレイへの故障警告の表示例

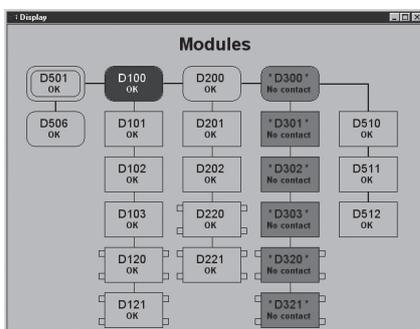


図-5 故障診断のディスプレイ表示例

(b) モジュール

同じタイプのモジュールは、同一の機械だけでなく他の機種間においても交換が可能である。したがって、同じ施工区域で複数の機種が稼動する状況にあっても

部品在庫を削減することが可能となる。

ドリルジャンボの全てのブーム操作は一つの操作パネルで行うことができる。複数パネルにすることもでき、この場合は各パネルの操作対象となるブームを個々に設定することが可能となる。モジュールの種類は以下の通りである。

① I/O モジュール

アナログシグナルをデジタルに変換しアプリケーションモジュールに送信する。また、アプリケーションモジュールから送られるデジタルシグナルをアナログに変換しアナログ機器に送信する。すべてのモジュールは湿気やほこりから保護するためシリコンが充填される。



写真-2 I/O モジュール

② アプリケーションプログラムモジュール (AP モジュール)

メインプログラムのモジュールでペンティアムと互換性がある。



写真-3 AP モジュール

③ レゾルバーモジュール

ブームとフィードのレゾルバセンサからの信号を受信しディスプレイモジュールに送信する。位置と傾きの表示に必要となる。

④ ディスプレイモジュール / オペレータパネル

設計データの読み込み、さく孔データの取出し、ドリ



写真-4 オペレータパネル

ルジャンボに搭載された RCS ソフトウェアの更新に使用する USB スロットを組込んだ高解像度、フルカラーのディスプレイモジュール。

パネルは人間工学に基づいて設計され、多機能ジョイスティックと重要な機能に直接アクセスするための論理的に配置されたプッシュボタンで構成される。情報はグラフィックやテキストでディスプレイに表示される。

⑤ コモンコミュニケーションインターフェース (CCI) モジュール

オプション機能 RRA (Rig Remote Access) の一部として RCS システムと TCP/IP (イーサネット) ネットワーク間のデータ送受信を行う。ドリルジャンボのディスプレイモジュールへのリモートアクセス、データの送受信、作業現場の管理システムとジャンボ操作データとの統合が可能となる。

(2) High Precision Tunneling (HPT)

トンネルの品質向上と経済性の実現を目指して精度の高いトンネル掘削の試みがなされている。同様の考えから海外のトンネル工事においても高精度で高速の掘削管理が求められている。コンピュータさく孔は、さく孔速度を向上し精度を高めるための有効な手段と位置づけられ広く採用されている。



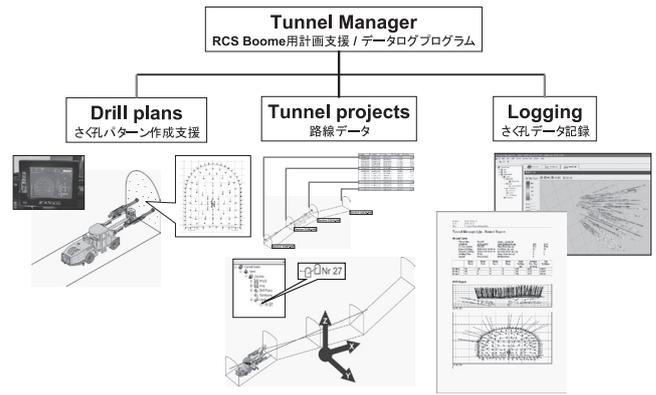
写真—5 RCS ドリルジャンボの操作状況

より質の高いトンネル施工を実現するコンセプト、HPT はドリルジャンボと一体となって機能する 5 種類の先進技術、トンネルマネジャー、リグリモートアクセス、トータルステーションナビゲーション、そしてトンネルプロファイラーで構成されている。

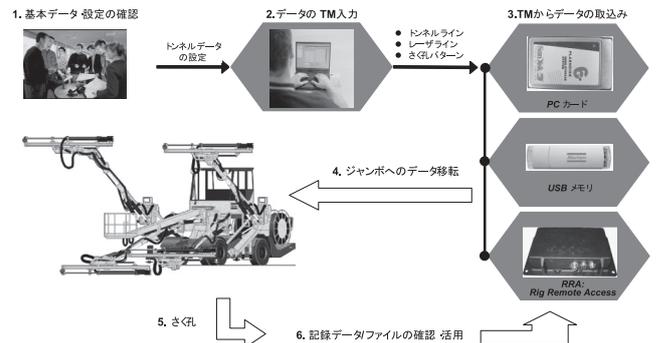
(a) トンネルマネジャー

RCS を装備したドリルジャンボを現場事務所からサポートできる PC のソフトウェア。

このソフトウェアはトンネル計画路線や発破パターン作成、さく孔工程の計画、保存、データ分析を支援しトンネル施工サイクルを最適化するために使われる。



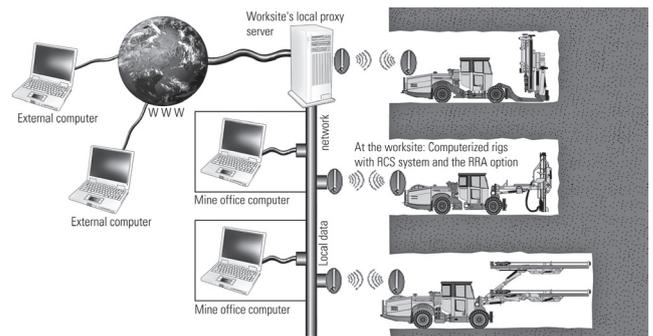
図—6 TM の構成概要



図—7 TM でのデータフロー

(b) リグリモートアクセス (RRA)

ジャンボに記録されたデータをオンラインで管理部署と送受信し保存するシステム。データは自動更新される。ジャンボとオンラインで繋がることで関係部署では最新の情報による管理が可能となる。



図—8 RRA の概念図

また、オンラインでジャンボの状態を診断できるようになりトラブルの防止、計画的な保守点検が可能となる。

(c) トータルステーションナビゲーション (TSN)

ドリルジャンボの位置決めを精度よく迅速に行うための支援システム。ナビゲーションはジャンボとトンネル壁面に取り付けられたプリズム、三脚に据え付けたトータルステーションを使いオペレータが操作する。

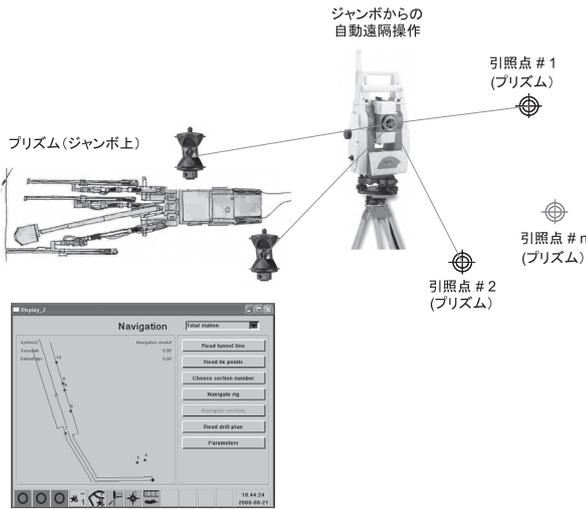


図-9 TSNの概念図

(d) トンネルプロファイラー

トンネル断面を迅速に高精度で測定する3Dのスキュンシステム。さく孔作業の前にジャンボ前方の断面計測を行う。計測データは数分で処理され運転席に断面の過不足状況を表示する。オペレータはこの結果に基づいてさく孔パターンの修正が可能となる。

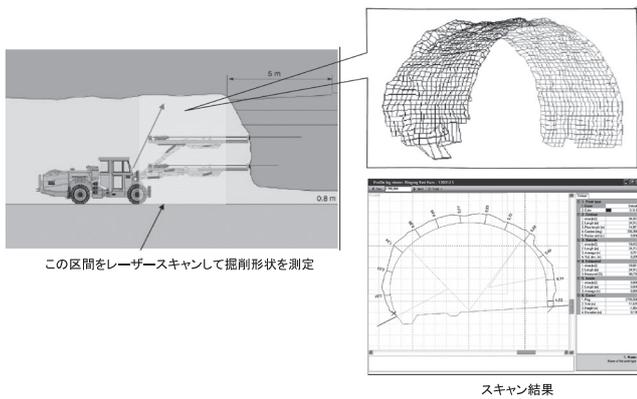


図-10 トンネルプロファイラー計測概念図

(e) さく孔データ測定システム (MWD)

さく孔速度、フィード圧力、回転スピード等のさく孔データを計測・記録するためのシステム。記録され

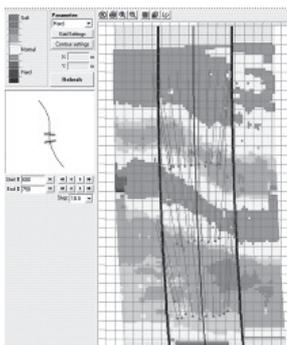


図-11 MWD 地山評価の出力例 (平面)

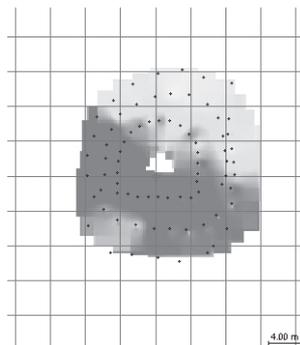


図-12 MWD 地山評価の出力例 (断面)

たデータを活用し岩質や破碎帯の推定など地山の特性を予測する。

これらの技術を有効活用することで不要な作業を抑えより高品質なトンネルの施工が実現されている。

4. おわりに

RCSの開発は、第一段階では操作系が対象となった。第二段階の対象は通信技術の有効活用であり現時点での最新版、第四世代で実現された。

この成果を活用しトンネル施工の高度化を目指した技術がHPT (High Precision Tunneling) である。

この機能と効果は以下の通りである。

【機能】

- ①さく孔用データの作成とこれによる運転
- ②さく孔データの記録と活用
- ③データ通信
- ④切羽直後の断面測定
- ⑤MWD : Measurement While Drilling
- ⑥トータルステーション・ナビゲーション

【効果】

- ①余掘りの低減
- ②トンネル品質の向上
- ③工期の短縮

現在進行中の第五世代の開発目標は、情報化により作業工程全般を最適化することにある。掘削データが必要になるのはオペレータばかりではなく火薬の装填や発破作業の効率化にも重要な情報となる。積込みや運搬機械ではエンジン、トランスミッション、油圧やブレーキなどの主要装置のモニターデータは操作に対する警告や最適操作への支援に止まらず、関連作業との作業調整や最適化に必要な情報となる。これら従来は単独で活用されてきた施工データを共有化し工事管理の情報化を図ろうとするものである。

これらの最新技術がトンネル工事管理の高度化と経済性の実現に貢献することを期待したい。

JCMA

【筆者紹介】

鏡田 昌孝 (かがみだ まさたか)  
アトラスコプコ(株)  
土木鉱山機械事業部

