交流のひろば/agora―*crosstalking*―

C^4I にみる ICT 施工の未来

岡　本　直　樹

情報化施工に使われている ICT の要素技術は，軍用で開発されたものが多く，軍用 ICT 技術は C^4I（C Quadruple I）に結実している。そこで ICT 施工の未来を探るために，軍用 ICT 技術の分野と技術を覗いてみる。そして，C^4I 誕生の経緯と具体的な適用事例として F35 戦闘機を詳述解説する。また，10 式戦車や海軍艦艇の C^4I についても触れ，最後に米海軍の無人水上艦の配備計画等を付記した。
キーワード：C^4I，C^3，RMA，JTIDS，CIC，CEC，センサ融合，ICT，i-Construction，情報化施工

1. はじめに

1950 年代の米海軍艦内の戦闘指揮所 CIC では，刻々と変化する対空戦況をクリアボード（**写真―1**）に表示していた。機械化施工を指揮していた若い頃，重機群のマヌーバ（機動）をプロティングボードに自動表示するのを夢見ていたが後年，GPS の登場によってそれは実現された。

写真―1　CIC のクリアボード

古代から技術は軍事が先導してきたが，後年，軍事技術の対義語として Civil Engineering が生まれた。近年，ビジネス界ではデジタルトランスフォーメーション（DX）によって，政府においては Society5.0（超スマート社会）を標語にデジタル革命が推進されている。土木分野では ICT を活用した情報化施工が i-Construction へと深化して，デジタル化を加速させて社会実装を進めている。情報化施工を推進させている技術は，GPS，DTM，3D-CAD，インターネット，クラウド，Wi-Fi（スペクトラム拡散），データリンク，ミリ波，ドローン，AI 等の要素技術を活用しているが，DARPA（国防高等研究計画局）等で生まれた軍事技術からのスピンオフ技術が多い。i-Construction の先，ICT 土木情報化の未来は，先進の軍事情報化技術 C^4I を観れば，垣間見えて来る。

2. 軍事の ICT

軍事作戦の根幹は指揮・統制（Command・Control）であり，情報・通信が重要となり「情報の優越」による機動が勝敗を決する。この基本的考え方の基に RMA（Revolution of Military Affair）は構築されているが，ハイテク化と革命の進展の背景には，各種センサとコンピュータを組合わせた各システムとそれらを結びつけるネットワークがある。これら各種システムの統合化が System of Systems（SoS）であり，ネットワーク中心戦 NCW の考え方になる。そして，軍用 ICT の分野と技術には，以下のようなものがあるが，解説は省略する。

- 情報収集：C^4ISR，光学センサ（可視光，赤外線）赤外線捜索追跡装置 IRST，LiDAR，レーダ（アレイレーダ，合成開口レーダ，音響センサ，SAR，レーダ警報受信機 RWR
- 兵站支援／Logistics
- プラットフォーム：航法・誘導，無人化
- 射撃指揮：センサ融合 sensor fusion，データ融合 data fusion
- 電子戦：ESM，ECM，RWR，チャフ，デコイ，COMJAM，ELINT，COMINT，SIGINT
- サイバ空間と宇宙空間：サイバ戦，マルウェア
- ウェポンシステム：誘導

・コンピュータ：COTS 化，Ada，C^{++}
・通信：衛星通信，秘話通信，スペクトラム拡散通信，車間通信
・ネットワーク，情報共有：データリンク，Link11，Link22，Link14，Link16，JTIDS（統合戦術情報通信システム）
・指揮統制システム：NTDS（海軍戦術情報処理），CIC，SAGE，AWACS，C^4I

3. C^4I

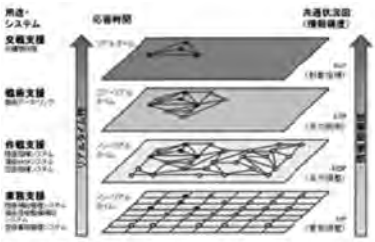
1991 年の湾岸戦争が最初の情報戦 Information Warfare の場であったと云われている。米軍は 1990 年代から情報を原動力とした軍事革命を起こし，更に国防体制の大変革（Transformation）が進行中である。System of Systems（S-o-S）を提唱したオーエンス海軍大将も情報優越と C^3（指揮・管制・通信）があれば無敵であるとしている。

著者は電子装備に興味があり，70 年代からは米海軍の C^3（C キューブド）に注目していたが，80 年には専門誌に C^3 システム特集が組まれたのを覚えている。C^2（Command, Control）が C^3（＋Communications）となり，1987 頃から C^3I（＋Intelligence）に，1990 年代は C^4I（＋Computer）に進化して，偵察・監視を含むと C^4ISR（＋Serveillance，Reconnaissance）と称している。

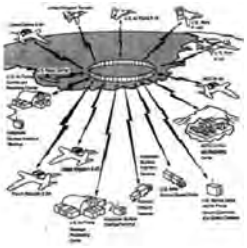
ネットワーク中核戦 NCO は，世界に展開する陸海空軍の戦力を個々の兵士から総ての兵器をネットワークで繋いで，戦略統合作戦を行う概念である。そして，この概念の中核が 4 階層ネットワーク（**図―1**）による C^4I（C Quadruple I）である。下層から業務支援／ロジスティックス，作戦支援／兵力調整 COP，戦術支援／兵力統制 CTP，交戦支援／射撃指揮 FCP の順に階層が上がり，上層ほど情報精度が上がり，応答性もリアルタイム性が求められる。古来より戦場における指揮官の課題は，Fog of War（戦場の霧）と Friction of War（戦場の摩擦）である。C^4I はこの課題解決のために共通作戦状況図 COP と共通戦術状況図 CTP を提供して，指揮官の正しい意志決定を支援するが，リアルタイム性を求められるその手順は OODA ループ（Observe-Orient-Decide-Act：**図―3**）で行われる。因みに，近頃はこの OODA ループがビジネス界でも注目されている。

(1) F-35 の C^4I

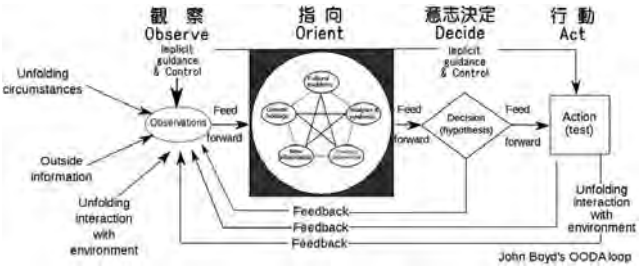
C^4I の運用例として，先進の F35 の C^4I から始める。F35 は，空母化されるいずも型護衛艦の搭載機として



図―1　4 階層ネットワーク



図―2　JTIDS



図―3　OODA ループ

写真―2　計器類のグラスコクピット化

や最新鋭機の墜落事故で話題になっているが，第 5 世代戦闘機として先進の C^4I を装備している。戦闘機の計器類は第 4 世代機からグラスコクピット化（**写真―2**）が始まり，民間機にも波及して，近頃は建設機械にも採用されている。また，軍用機は CNI（通信・航法・識別）装置を装備し，通信器は秘話機能とデータリンクを備えている。飛行間データリンク IFDL は編隊他機の情報を共有し，目標の配分を行える。また，JTIDS（統合戦術情報分配システム：**図―2**）は，AWACS（空中警戒管制システム機）や地上指揮所や司令部との情報共有で戦域的な作戦が行える。航法装置は，レーザ式ジャイロに GPS を組合せて，敵味方識別装置も装備している。F35 の主要センサは，AN/APG-81 レーダ，AN/AAQ-40 電子光学目標指示システム EOTS，AN/AAQ-37 電子光学開口分散システム EO DAS の 3 つを装備し，重要な情報を選別して「センサ融合」による統合画面に表示する。前述の IFDL による他機のセンサ情報も融合して，切れ目のない戦闘が行える。

また，F35 は完全なグラスコクピット化がほぼなさ

れていて，操縦席正面に 19.6 × 8 in の大型タッチスクリーン（**写真―3**）を左右 2 分割して，飛行情報，機体状態，戦術状況，兵装，地図，センサ映像等を画面切替えや多分割に表示する。**写真―3** の左は戦術情報を占有表示，自機全周をカバーした他機等のデータリンク情報をまとめて表示しているが，逆合成開口レーダ ISAR による目標機種判別機能 NTCR を備えていると思われる。メニューはタブ表示，右側は 2 分割で，その左の EOTS のセンサ映像表示と右が平面地図表示である。右下は 4 分割で兵装管制画面等を表示している。EOTS は，赤外線センサとレーザセンサを統合した電子光学的目標指示装置で，電磁干渉フィルタ，ジンバル，高速ステアリング鏡 FSM 等で構成されていて，機首下部の透明フェアリング内に納められている。

写真―3　F35 のタッチスクリーン

従来の戦闘機は，照準と飛行情報を HUD（Head Up Display）に表示しているが，F35 では HUD を廃してヘルメットのバイザーに投影表示する HMDS（Head Mounted Display：**写真―4**）を採用している。この第 3 世代 Gen Ⅲヘルメットは，更に高度な目標指示情報や EO-DAS 映像を提供でき，パイロットが顔を向けた機体下方や後方を透視してバイザーに表示でき，全方向視界が得られる。また，F35 は早期警戒機 E2D と同様に NIFC-CA（海軍統合火器管制）の空中センサとしての機能を具備していて，艦艇の超水平線の脅威に支援対処できる。尚，AWACS 空中警戒管制機の導入時は，なかなか使い熟せなくて慣熟に時間が掛かった経緯があるので，F35 では緻密な慣熟訓練による迅速な戦力化が望まれる。

写真―4　F35 の HMDS

写真―5　F35 コクピット

(2) 10 式戦車と陸の C^4I

陸は空海に比べて C^4I の導入が遅れていたが，10 式戦車は，初めて C^4I を装備した陸自の戦車である。ネットワークにより指揮所との情報共有，リアルタイム車間情報融合により，僚車への目標割当て等の迅速な指揮が可能である。師団等指揮システム FiCs，火力戦闘指揮統制システム FCCS，対空戦闘指揮システム ADCCS，野外通信システム等のネットワークと連携することになる。UAV による上空からの偵察・監視映像も共有している筈であるが，モニタ画面等は防衛秘で公開されていないので，表示内容，表示方法等の詳細は不明である。

写真―6　統合 C^4I イメージ

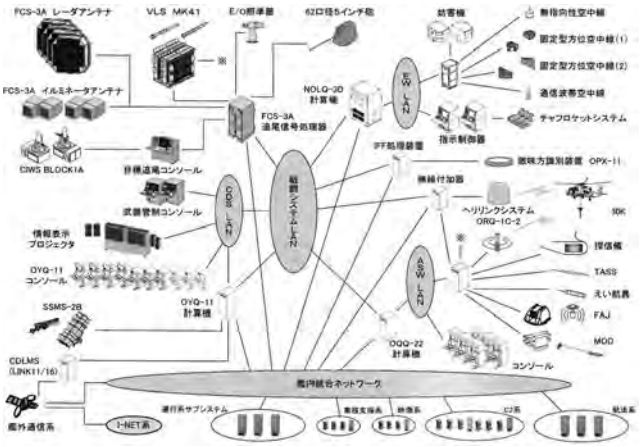
(3) 海軍の C^4I

C^4I は航空，陸上でも装備が拡がっているが，先行していたのは大型プラットフォーム（艦艇）で搭載が容易だった海軍であり歴史が長い。そして，海自の情報システム化は，ゆき型からシステム艦の配備が始まり，イージス艦の導入により情報収集能力が飛躍的に向上した。更に，新造のまや型では共同交戦能力 CEC が付加される。**写真―7** は米海軍のイージス艦の CIC であるが，CIC は機密度が高く，許可を得た乗員しか入室できない。写真のスクリーン画像も見学者用の無難な画面で，実際の画面は機密である。

自衛艦のマスト（**写真―8**）は，電子戦装備でいっぱいである。多用途のレーダや ECM，衛星通信アン

写真―7　イージス艦の CIC

写真―８　艦橋のアンテナ（センサ）群



図―４　護衛艦の統合ネットワーク

テナ等が密集している。これらのセンサ群と通信設備が C^4I の情報収集を担っている。**図―４**は新型汎用護衛艦のウエポンシステムを繋いだ艦内統合ネットワークを示している。これからの自衛艦は，レーダでもソナーでもアクティブ探査が自身を暴露するので，発信艦を限定してマルチスタティック探知によるセンサ融合を行う。

さて，米海軍では共同交戦能力 CEC の実装が進んでいるが，レーダ等を装備せず，VLS（垂直発射ミサイル）500 セルだけを搭載したアーセナル艦を配備し，僚艦から遠隔発射する構想もあったが断念された。

また，米海軍には艦艇のロボット化構想があり，中型無人水上艇 MDUSV を試験中である。そして，2000 t 級大型無人水上艦 LUSV を 2020 年から 5 年間で 10 隻を建造する計画がある。その用途には，レーダピケットや対空・対潜兵器等の運用があり，共同交戦能力 CEC を付与して有人艦艇との艦隊行動がある。また，DARPA が研究を開始して ONR（海軍研究所）も参画している XAI（eXplainable AI：説明可能な AI）を搭載しそうだ。現在の先進 AI である深層学習は，推論過程を説明できないが，これは敵の探知・追尾から迎撃に至る過程の根拠を説明できるものである。

4. おわりに

米軍の先端技術は，同盟国とのインターオペラビリティ（共同作戦）により自衛隊に移転してくるが，やがて民間にも波及して概念や部分技術が利用される。情報化施工におけるローラ転圧管理システムにおいて，データリンクによる車間情報共有が実装されたとき，C^4I に倣っているなと思ったものである。

さて，i-Construction 等の ICT 施工では，リアルタイム処理とニア・ノンリアル処理をエッジ側とクラウド側に分けて集中・分散処理を行っている。MMI（マンマシン・インタフェース）として軍用 GUI（Graphical User Interface）がリアルタイム性向上の参考になるが，やがてセンサ融合やデータ融合も取入れられて，4 階層ネットワークの捉え方や OODA ループも取入れられて来るに違いないし，その他にも示唆に富むものは多い。

最後に紙幅の関係で C^4I の一部しか紹介できなかった点と専門用語が多く，その解説も満足にできなかった点をお詫びする。しかし，施工情報化の参考にするため，C^4I の入門書を読む切掛となって頂ければ幸いである。

JCMA

《参考文献》
1）大熊康之：軍事システムエンジニアリング，かや書房，'06.11
2）井上孝司：戦うコンピュータ（V）3，潮書房光人社，'17.2
3）青木謙知，F-35 完全教本，秀和システム，'18.8
4）P.W.Singer:,Wired for War,Penguin Books, '09.
5）「世界の艦船」各号，海人社，1980 ～ 2019
6）「軍事研究」各号，ジャパン・ミリタリ・レビュ，1995 ～ 2019
7）USAF，US Navy，防衛省：資料

［筆者紹介］
岡本　直樹（おかもと　なおき）
建設機械史研究家