

調査・研究報告書の要約

書名	平成 17 年度防衛装備の高度化に貢献するナノテク技術とその民生利用に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・株式会社 三菱総合研究所				
発行年月	平成 18 年 3 月	頁数	59 頁	判型	A4

〔目次〕

本編

1. 防衛装備の高度化研究を巡る課題の整理
 1. 1 防衛関連研究開発予算の日米比較
 1. 2 防衛産業の規模と防衛受注割合の比較
 1. 3 産業競争力強化の手段としての防衛関連 R&D
 1. 4 我が国防衛装備の高度化のための課題
 1. 5 府省連携によるプログラムデュアルユース技術開発の提案

2. 防衛分野と民生分野の両方で使用可能なナノ技術領域の抽出
 2. 1 米国 DoD のナノテクノロジー関連研究開発戦略
 2. 2 米国 DARPA におけるデュアルユース研究
 2. 3 米国兵士ナノテクノロジー研究所における研究開発
 2. 4 我が国におけるデュアルユースが期待されるナノ技術領域

3. 防衛装備として必要なスペックの設定
 3. 1 バイオテロ用防護服
 3. 2 自走式爆発物センサー
 3. 3 災害用高性能人体センサー
 3. 4 超軽量耐熱材料

4. スペックをクリアするためのナノ技術開発課題の整理
 4. 1 バイオテロ用防護服
 4. 2 自走式爆発物センサー

4. 3 災害用高性能人体センサー

4. 4 超軽量耐熱材料

5. 技術開発の民生用途への波及効果と新規市場創出規模等経済効果の検討

5. 1 バイオテロ用防護服

5. 2 自走式爆発物センサー

5. 3 災害用高性能人体センサー

5. 4 超軽量耐熱材料

〔要約〕

現在、我が国の防衛装備は防衛庁技術研究本部が基礎研究から応用研究・試作まで担っているが、基礎からの自主的な研究はほとんど行われておらず、民生技術の防衛への応用が主流である。従って、民間企業等が行うナノテク研究と防衛分野への応用のマッチングが進んでいないのが現状である。

一方、米国においては政府における軍事技術の開発成果の一部が民生用機器等に転用され、産業技術として活用されるなど、公共分野における技術開発は国内産業技術の高度化に大きく貢献している。(有名な例として、過去に I T 技術や G P S システムが軍事用に開発され、民生転用されている。)

本調査研究では、現在又は将来必要となる防衛装備技術（防衛装備にスピノンされるような技術）に貢献できるナノテクについて調査を進めるとともに、当該技術の民生利用についてその転用先、波及効果等について検討し、もって機械工業産業の効率的な技術の向上に資することを目的として調査を実施した。

1. 防衛装備の高度化研究を巡る課題の整理

1. 1 防衛関連研究開発予算の日米比較

米国は、同時多発テロや対イラク戦争などの勃発により、2002 年度から 2004 年まで、対前年比 10%を優に超える予算増額措置を行なった。2005 年度は若干落ち着く気配を見せているが、1999 年代後半に比べ、2000 億ドルを超える規模の予算増額となっている。国防費の対 GDP 比率も 1998 年度の 3.0%から、2003 年度時点で 3.5%、2005 年度では 4%近くになっていると想定される。これは、先進国中抜き出で高い。

この予算中の国防関係 R&D 予算は、全国国防費の 14%内外で推移している。若干古いデータではあるが、科学技術政策研究所 (NISTEP) の報告では、DOD の研究開発費が全連

邦研究開発費の半分近くを占めている。米国 R&D における国防 R&D 比率は極めて高い。

一方、日本の防衛関連予算は年間 5 兆円弱の規模で推移しており、GDP の約 1% である。このうち、2000 年以降の研究開発費は、1200-1600 億円程度であり、全体の 2-3% 程度である。

日本の防衛関連 R & D を米国と比較すると、以下が見てとれる。

- ・ 米国の国防費は近年増加の一途をたどり、2005 年度では 4700 億ドルを越える。この伸びにほぼ追随する形で研究開発費も増加しており、2005 年度段階では 700 億ドル規模（14% 程度）となっている。
- ・ 先端研究推進の側面が大きい DARPA の予算に限定しても 30 億ドル規模の年間予算がある。
- ・ 一方で日本の場合、防衛予算そのものが 5 兆円規模と、米国の 1/10 以下であるにもかかわらず、防衛費に占める研究開発予算も 3% 未満と、米国の 1/5 程度である。
- ・ 結果的に、我が国の防衛関連研究開発予算規模は、米国の 1/50 程度となっている。

DARPA の予算規模と比較しても、我が国の防衛関連研究開発予算は 1/3 程度である。

1. 2 防衛産業の規模と防衛受注割合の比較

米国では、防衛産業上位企業であるロッキード・マーチンやボーイング、ノースロップ・グラマンなど、航空宇宙関連企業の防衛関連収入は、米国国防費の伸びに呼応して急激に増加している。他の企業についても堅調に増加している。また、近年、全般的に、防衛関連への依存度が増加している。特に、ロッキード・マーチン、レイセオンの 2 社は元々防衛比率が高めであったが、2002 年以後は 90% を優に超えるものとなっている。

一方日本の防衛関連企業については、日本の防衛費がほぼ同額で推移していることを踏まえ、企業の防衛分野からの収入もほぼ同額で推移している。なお、防衛関係国内最大手である三菱重工業でも、年間収入は 25 億～30 億ドル規模であり、現在の米国大手に比べると、1/10 規模である。また、防衛関連受注比率が高い三菱重工、川崎重工などでも、その比率は平均すると高々 12% 内外であり、電気関連では最も高い三菱電機で 3%、NEC や東芝では 1-2% 程度である。

防衛関連受注比率が高い三菱重工、川崎重工などでも、その比率は平均すると高々 12% 内外であり、電気関連では最も高い三菱電機で 3%、NEC や東芝では 1-2% 程度である。

1. 3 産業競争力強化の手段としての防衛関連 R&D

米国の航空宇宙産業は、軍からの受注依存度が極めて高く、企業としての存続の根幹が

軍用機器の製造である。また、非常にシビアな運用が要求される軍用航空機で培った技術は民間用航空機の製造にも寄与しているといえる。軍用の性能本位製品の開発⇒コストパフォーマンスに優れた汎用製品の製造、という意味で、スピノフ型利用が進んでいるといえる。

防衛関連 R&D による産業競争力強化という面で、最も有名なものは、国防総省国防高等研究事業局（DARPA）における研究開発であろう。

DARPA には7つの技術オフィスがあり、それぞれ多くの研究プログラムを推進している。DARPA の研究開発予算規模は DoD 全体の研究開発+試験評価予算規模の 1/20 程度であるが、それでも、30 億ドル規模であり、大学や民間にとって、決して無視できない規模である。

DARPANET など、情報通信分野の中核技術は、そもそも米軍の情報通信網の高度化のために開発されたものである。これらの技術が民間に開放され、世界の情報インフラに成長した。巨大なスピノフであるといえる。

この他にも研究開発の第1段階が DARPA にある産業技術は材料などでも多くの例がある。例えば、現時点で最強の耐熱繊維である PBO 系繊維も元々は米軍の要請でデュボンが開発をしたものである。

一方日本においては、防衛産業は、武器輸出三原則により、国内市場（防衛庁）のみが対象となっている。また、防衛関連研究開発費も米国の 1/50 程度と、決して潤沢ではない。防衛産業・技術基盤研究会は、平成 12 年に、従来皆無に近かった大学などとの連携、官民間及び官官間での研究課題の分担、技術者の交流、研究経費の分担、研究施設の利用など、協力のあり方の見直しを行うことが必要であること、民間企業が防衛庁から委託された研究開発で得られた技術の民生転用を容易にすること、などを提言している。

1. 4 我が国防衛装備の高度化のための課題

素材技術のように、最もシビアなニーズが防衛分野にある技術については、コストを重視する民生用品からのスピノフ的研究開発が進めにくく、米国 DARPA のように、自らの戦略で研究開発を行うことが有効であるが、これには、膨大な研究開発費が必要である。防衛関連 R&D 費が少ない日本ではこのような研究開発を防衛の枠内で行うことは事実上不可能である。素材分野などのように、スピノフ的研究開発を行えるような仕組みの構築が必要である。

1. 5 府省連携によるプログラムデュアルユース技術開発の提案

素材技術はナノテクノロジーの進展に伴い、大きな発展を遂げようとしている。米国においては、高コストであっても製品性能本位で実用化が可能な防衛分野をターゲットとすることで、実用化のハードルを下げるができる上、DARPA などの豊富な研究開発資金を活用できることから、企業にとって、最先端の技術開発を行ないやすい環境にある。

我が国においては、このような制度を踏襲することはできないが、性能本位的側面の強い防衛分野を初期市場とみなすことができれば、最先端技術の実用化が加速することは明らかである。

このような背景を踏まえ、府省連携によるプログラムデュアルユース技術開発制度を提案する。具体的には、以下の流れを想定する。

- ①デュアルユース可能な技術の設定
- ②経済産業省による初期市場向け研究開発
- ③防衛庁による防衛向けスピノン研究開発
- ④プログラムデュアルユースの波及—スパイラルアップ型市場拡大

このような制度を創出することにより、防衛庁、経済産業省、開発者（大学・企業）の3機関はそれぞれメリットを享受することが可能となると期待される。

但し、1)情報、IT など、既に民生品の性能が防衛用途を凌駕しているもの、2)既に市場が拡大期に入っており、初期市場としての防衛市場の役割があまり期待できないもの、3)デュアルユースを標榜することで、武器輸出三原則などに抵触し、輸出が困難になるもの、などについてはこのような研究開発制度によるマイナスの影響が懸念される。

2. 防衛分野と民生分野の両方で使用可能なナノ技術領域の抽出

2. 1 米国 DoD のナノテクノロジー関連研究開発戦略

DoD は政策志向の機関であるため、そのナノテクノロジープログラムは、科学技術的価値に加え DoD との潜在的関連性に焦点を当てているという点で、他の連邦機関のものとは異なる。

DoD プログラムのゴール（長期的課題）は以下の通りである。

- ・戦闘機や戦闘システムの将来性を大きく躍進させるような新たな現象やプロセスを開発すること
- ・個々のナノ構造を融合、特徴づけ、集積についての活発な戦略を発展させること
- ・画期的な触媒、スカベンジャー、タグ材料、センサーについて、ナノ構造のアプリケーションを開発すること

- ・高性能な熱電、熱イオン学、光電池のデバイス開発に関係した個々のナノワイヤ、2、3次元のナノストラクチャでのフォトンやエレクトロンの輸送の基礎的な側面を明らかにすること

2. 2 米国 DARPA におけるデュアルユース研究

DARPA の研究開発が参考となる。以下、幾つかの例（プレスリリースがあった例）を紹介する。

- ①業界で最も低電圧の 65nm SRAM の試作品
- ②クリーンエネルギーの実用化開発
- ③Bio-Magnetic Interfacing Concepts
- ④分子エレクトロニクス技術開発
- ⑤生物分子モーター
- ⑥生体光学合成システム
- ⑦工学的な生体分子ナノデバイス／システムの開発
- ⑧量子情報科学技術の開発
- ⑨先進ファイバー
- ⑩チップスケールの原子時計
- ⑪バイオエージェント検出のための III-V 窒化物 UV 光学デバイス
- ⑫ナノ-UAV チャレンジ

これらの研究開発を見ても分かるように、DARPA では、かなり先端的なテーマの実証に積極的に資金を提供している。内容的にも、最終的な国防応用を謳っているものの、何らかの形で産業応用に繋がるものが殆どであるといえる。

2. 3 米国兵士ナノテクノロジー研究所における研究開発

米国陸軍は、それまでの軍内部での検討を踏まえ、2001年2月に Nano Soldier ワークショップを開催した。ここで、将来の兵士としての「目的指向型兵士 (objective force warrior)」なる概念が公表された。ここで提案要請がなされ、MIT の Institute for Soldier Nanotechnology (ISN) 提案が採択され、計9千万ドルで研究開発が行なわれることとなった。ISN では、ISN コンソーシアムを構築し、3つのメンバーシップで企業との共同研究を推進している。これには、ファウンディングメンバーとして DuPont 社、Reytheon 社、Partners Health Care 社が、大企業メンバーとして Dow Corning 社が、小規模事業者メンバーとして Carbon Nanotechnology 社、Dendritic Nanotechnologies 社、

Triton Systems 社、Nomatics 社、Zyvex 社が参画している。

また、この他、コンソーシアムのメンバーではないが、年間 25000 ドルの会費を払って、で W.L. Gore and Associates 社、Honeywell 社、Mine Safety Appliances 社が情報交流を行っている。

なお、ISN では7つのチームが37のプロジェクトを実施している。

チーム1「エネルギー吸収材料」

チーム2「力学的にアクティブな材料・デバイス」

チーム3「センシングおよび中和作用」

チーム4「兵員の医療技術向けバイオマテリアルおよびナノデバイス」

チーム5「製造および分析—ナノファウンドリー」

チーム6「材料およびプロセスのモデリング、シミュレーション」

チーム7「システムズデザイン、硬化、およびインテグレーション」

研究内容を見ると、ISN は、軍のニーズに基づく研究を進めているとはいえ、繊維やソフトアクチュエータの先端シーズの実用化を通じた、産業基盤の確立を意図してものと見ることができる。

2. 4 我が国におけるデュアルユースが期待されるナノ技術領域

平成17年4月13日に、総合科学技術会議安全に資する科学技術推進PTから「安全に資する科学技術のあり方（中間報告）」が報告された。この中で、国民生活の危機に関する3つの領域に関して目標が設定された。

これらの中で、1) 主として防衛分野に最大のニーズがあり、かつ、防衛分野が初期市場を構成することで、広く民生利用が進むと期待されているもの、2) 武器輸出3原則などに抵触する可能性が少なく、開発した産業界が比較的自由に民生応用を図れるものが、プログラムドデュアルユース研究開発ターゲットとして適当であると考えられる。またナノテクノロジーの寄与という点も産業振興という面で重要である。

このターゲットの例として、以下があげられる。

- ①バイオテロ用防護服
- ②自走式爆発物センサー
- ③災害用高性能人体センサー
- ④超軽量高強度耐熱材料

3. 防衛装備として必要なスペックの設定

3. 1 バイオテロ用防護服

次世代 BC 防御服は、以下の能力を有していることが望ましいと考えられる。

- 1) 現状のレベルA防御服と同等のBC耐性を有していること。
- 2) 機械的衝撃にもある程度耐えること。
- 3) 火災などとの複合災害にも耐える耐熱性があること。
- 4) 酸素ボンベや携帯冷却装置などはできる限り不要化すること。
- 5) 周囲のBC環境をモニターできること。

3. 2 自走式爆発物センサー

近年の技術革新により化学センサーやバイオセンサの感度は大幅に向上していることから、爆発物から漏れ出る極めて微量の蒸気成分を検知する、化学センサ、バイオセンサを小型化・高感度化し、従来の物理センサーとともに自走ロボットなどに搭載することができれば、爆発物の安全な検出に有効であると期待される。

3. 3 災害用高性能人体センサー

阪神淡路大震災以来、大規模災害の被災者の早急な位置同定の重要性が広く認識されるようになり、救助用探索機器の開発が進められている。

被災者の探索に利用されている方法には以下がある。

- 1) 光学的手法による探索用センサー
- 2) 電磁波を利用した探索技術
- 3) 音響を利用した探索技術
- 4) ガス、臭いを利用した探索技術

ガス、臭いを利用した探索技術としてのヘビーデューティなセンサーの開発が重要である。

3. 4 超軽量耐熱材料

ガスタービンエンジン、航空機のジェットエンジン、スペースシャトルから将来の高速輸送機として期待を集めているスペースプレーンまで、エンジンとその周辺、機体構造、機体表面に用いられる材料には、超高温で静的および動的な荷重が加わることになる。そのような苛酷な使用環境下で用いることができる材料の実現を目指して、あらゆる系統の材料の性能向上、新素材の開発が進められている。耐熱・軽量などを実現する材料系としては、幾つかの候補が見出されつつあるが、製造コストや市場性の面で、実用化には至っ

ていないものが殆どである。

4. スペックをクリアするためのナノ技術開発課題の整理

4. 1 バイオテロ用防護服

これに役立つナノテクノロジーとしては、例えば以下のような要素技術がある。

- ・ 物質輸送は完全にプロテクトでき、熱伝導度が高いテキスタイル
- ・ 化学物質やバイオ素材を完全に吸着するナノ吸着剤複合テキスタイル
- ・ ナノ繊維フィルターからなり、有害化学物質を不透過する呼吸器
- ・ 毒物の有無が判別でき、フレキシブル性を持つことで、防護服表面に実装できる薬物検査チップ
- ・ ナノ無機-有機コンポジットによる力学的強度と靱性の両立

4. 2 自走式爆発物センサー

これの中核となる化学センサ、バイオセンサ自体がナノテクノロジーそのものといえる。化学センサについては例えば以下の候補技術がある。

- ・ 赤外分光法：火薬物質中の特定の化学結合に固有な光吸収帯を用いて TNT の微量蒸気 の存在を測定。
- ・ 光音響分析法：特定の波長のレーザーを照射することにより励起された TNT 分子から の放出エネルギーにより物質を加熱し、その物質の膨張による粗密波を音波として検 知
- ・ レーザー蛍光法：半導性有機ポリマーと光導波路、グレーティング、光ファイバーか らなる薄膜型センサーで爆発物分子を検出 (Nature,2005)
- ・ スマートサンド、なる TNT を特異的に吸着する粒子を用い、TNT 吸着時の蛍光波長 の変化を検出 (SNL)
- ・ シリコンナノワイヤーの表面にポリマーをコートして蛍光ベースで ppb レベルの TNT 検出

バイオセンサは、基本的には TNT に抗体反応を起こすような (人工) 分子を活用して TNT の微量蒸気 の存在を測定するものであり、特異的に結合する分子の探索 (合成) + 高 感度トランスデューサの開発が必要となる。

トランスデューサ技術としては、1) カンチレバー、2) 水晶振動子、3) 表面弾性波、4) 電気化学的検出方法など、様々な方法が実用化されている。

4. 3 災害用高性能人体センサー

自走式レスキューロボットは既に複数の開発例がある。その多くは、画像センサーを搭載しているが、これに加え、呼吸時に生じる炭酸ガスを検出するセンサー、音響センサー、体温センサー等、多様なセンサーが搭載されることで、被災者発見の確率が高まると期待される。

炭酸ガスセンサー等では、ヘビーデューティーな固体電解質型のものが開発されており、一部実用化されている。材料系としてはリチウム系固体電解質などが用いられている。

ナノテクノロジーを利用することで、比表面積の増大、反応領域の極小化などを通じ、高感度化、低消費電力化が可能となると期待される。

4. 4 超軽量耐熱材料

超軽量耐熱材料は、実験室レベルや試作品レベルでは、幾つかの候補材料がある。実用化を阻害しているのは、コストであるといえ、防衛分野が初期市場の一翼を担うことができれば、実用化が進むと期待される。

尚、ナノレベルの金属-無機コンポジット化や、組織のナノレベルの制御、ナノ空間の導入などで、性能を格段に向上できる可能性があり、超軽量耐熱材料に対する初期市場が明確になれば、この分野での実用化は大きく進展すると期待される。

5. 技術開発の民生用途への波及効果と新規市場創出規模等経済効果の検討

5. 1 バイオテロ用防護服

防護服単独で見ても、Business Communications Company, Inc.のレポート(2005年9月)では先進的な防護服や防具、呼吸マスク、防護手袋の米国市場は、現在年間23億米ドル規模となっており、年平均成長率7.9%で2010年には33億5,000万米ドルを超えると予想されている。

日本では、防護服市場は数百億円規模といわれているが、バイオ防御機能を有する繊維・フィルターなどでは将来的には2000億円以上の市場が期待される。

5. 2 自走式爆発物センサー

先進爆発物センサーとしての化学センサー、バイオセンサーの市場規模は、決して大きいものではない。仮に全国の消防本部(848)に年平均1台ずつ配備されたとしても高々1000セット程度/年規模である。

しかしながら、比較的単価を高く設定することが可能であることから、小規模の市場であっても実用化が可能であると思われる。また、ここで開発した技術、特にトランスデューサ技術は汎用性があり、環境センサー一般に活用可能である。この場合、関連市場も含め、1000億円／年規模の市場形成の可能性はある。

5. 3 災害用高性能人体センサー

これについても、比較的高価格であっても初期市場として成立させることができれば、将来的には巨大な市場形成につながる可能性がある。例えば、自動車に搭載された場合、年間1000万台規模の市場となる。産業用機器や燃料電池、更には家庭での炭酸ガスセンサーとして普及した場合、年間1億個以上のセンサー市場が形成されると想定される。単価200円として、センサー単独で200億円、関連市場も含めると1兆円を優に超える市場規模となる。

5. 4 超軽量耐熱材料

耐熱合金の成分であるNiの年間市場規模が1.5兆円規模であることから見ても、軽量・耐熱材料の市場規模は莫大なものがある。但し、高コストを許容しうる市場は限定されており、価格と性能の折り合いで、数十億円程度にしかならない場合もある。初期市場としての防衛分野、あるいは航空宇宙分野の寄与が実用化の鍵となる。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。