

Title	MEMS研究開発におけるDARPAの役割：ラディカル・イノベーションを可能にする公的資金配分機関のマネジメント
Author(s)	和賀, 三和子
Citation	年次学術大会講演要旨集, 26: 676-679
Issue Date	2011-10-15
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10208
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

2 H O 1

MEMS 研究開発における D A R P A の役割～ラディカル・イノベーションを可能にする公的資金配分機関のマネジメント

○和賀三和子（スサノバークレー合同会社/東北大）

1. 背景と目的

米国 DARPA（国防高等研究計画局）はリスクの高い革新的な技術開発を支援する資金配分機関である。DARPA は米軍の技術的優位性を維持し、国家安全保障の脅威を未然に防ぐことを目的として最先端の研究成果を軍事システムに適用することをミッションとしているが、その成果は民生用途にも大きなインパクトを与えてきた¹。過去 10 年、米国連邦政府の複数の省で DARPA の研究開発マネジメントスタイルを模した資金配分機関が設置されている。他の省による追随は、組織の目的や性格が異なっているにもかかわらず、革新的なイノベーションを志向する DARPA のスタイルから学ぶところがあることを示唆している。我が国でも競争的研究資金の配分について DARPA モデルから教訓を得ることができるのではないか。本稿では、MEMS（微小電気機械システム）分野の研究開発において DARPA が果たした役割と、それを可能にした制度の具体例を論じ、我が国へのインプリケーションを考察する一端とする。

2. 「DARPA モデル」とは何か

DARPA は 1958 年に高等研究計画局（ARPA）として創設された。ARPA 設立の直接のきっかけとなったのは旧ソビエト連邦による人類初の人工衛星スプートニク打ち上げの成功である。ARPA は当初、宇宙活動や弾道ミサイル等の開発に取り組んだが、1960 年までに宇宙関係は航空宇宙局（NASA）に、その他の軍事技術開発は軍に移管されることになった。その結果、DARPA は比較的小規模の探索的研究プログラムにシフトすることになる。1960 年代後半以来、現在実用化されているコンピュータ技術の多くが DARPA の研究資金によって研究されてきた。

DARPA の予算は慣例的に国防総省の科学技術予算の約 25% となっており、2011-2012 会計年度の予算は約 30 億ドルである。DARPA は米軍の研究開発機構から独立しており、長官、オフィスディレクター、プログラムマネージャーからなるフラットな組織で運営されている²。

前 DARPA 長官の Tony Tether は、DARPA を DARPA たらしめている主な特徴として 12 の項目を挙げている³。これらは、大きく、組織に関するもの（小規模で柔軟でフラットな組織であること、自律性があり官僚主義的弊害から自由であること、サポート要員を外注化することでプログラムの改廃を容易にしていること）、人材に関するもの（きわめて優秀なプログラムマネージャーの採用、技術スタッフや研究助成先がワールドクラスの研究人材であること、研究協力者のネットワークがあること）、助成方針に関するもの（画期的なブレークスルーを志向していること、ハイリスク研究で避けることのできない失敗への受容性が高いこと、特定の技術課題に取り組む一連のプログラムがあること）に分類できる。こうした特徴の集合を、本稿では「DARPA モデル」と呼ぶこととする。

3. DARPA による MEMS 研究開発支援とその成果

米国の連邦政府機関が MEMS の研究開発に系統的なファンディングを提供するようになったのは、1990 年代初頭に全米科学財団（NSF）が小規模のプログラムを開始してからである。その後、DARPA の電子技術オフィス（ETO）で MEMS プログラムが始まった。MEMS プログラムの予算規模は 1997 年頃までに年間 8 千万ドルに拡大した⁴。マイクロエレクトロニクスに加えて、MEMS、フォトニクスの重要性が高まっていることに対応して 1999 年に ETO はマイクロシステム技術オフィス（MTO）に改称された。2000 年頃から単一で大規模の「MEMS プログラム」ではなく、MEMS 分野で技術テーマを絞った複数のプログラムが企画・実施されるようになる。2011 年現在、MEMS 分野は 8 つのプログラムで構成されている。

DARPA による MEMS 研究開発支援の成果は多岐にわたる。まず、国防総省の軍事システムニーズを長期的に満たす要素技術が開発された。これには慣性センサ、マイクロ流体、高周波デバイス、光スイッチ、小型発電技術などが含まれる。第 2 に、大学研究が長期にわたってサポートされたことで研究者層の厚みが増し、研究と教育の機会が拡大した。例えば、MEMS 分野の代表的な国際会議である IEEE Conference on Micro-Electro-Mechanical Systems で発表された論文の主著者の所属を国・地域別に見

てみると、1998年の会議（開催地ドイツ）では米国34件、日本30件、欧州44件、アジア9件だったのが、2009年の会議（開催地イタリア）では米国100件、日本64件、欧州61件、アジア56件となっており、米国が突出して多数の論文を発表するようになった。同時に、論文発表する米国の大学数も1990年代は15校程度だったのが、2000年代には約30校に広がっている⁵。第3に、DARPAは民間企業にも研究開発資金を提供しており、こうした支援が革新的な製品の実用化につながった。大企業といえども革新技術を応用した製品開発については、その技術および市場性リスクを考慮してプロジェクトに消極的になる場合がある。DARPAのファンディングは、Texas Instruments（デジタル・マイクロミラー）、Advanced Micro Devices（慣性センサ）、Honeywell（慣性センサ）をはじめとする数々の大企業による製品化と、Kionix（加速度センサ）、Dust Networks（無線センサネットワーク）、Discera（シリコン発振器）など多数のスタートアップ企業創出のきっかけとなった研究開発支援において重要な役割を果たしてきた。

3. DARPAのプログラムマネジメント

3.1. プログラムマネージャー

研究開発プログラムの企画・実施に責任を持つプログラムマネージャー（PM）は「DARPAの心臓部」と呼ばれている。現在約240人のスタッフのうち130人がPMを含む技術系職員である。PMの在任期間は約4年間である。DARPAのPMは連邦機関の中でも例外的に大きな意思決定権限を持っている⁶。

DARPAのMEMS関連プログラムを担当した歴代のPMは、そのほとんどが一流研究大学の研究者で、IPA（政府間人事法）によって期限付きで出向していた。表1はMTOの歴代のMEMS分野PMの名前、在任期間、出身母体、現職、在任中に配分した資金（推定）をまとめたものである。新しいPMは前任者やかつてのマネージャーの推薦によって決まる場合が多い。

表1 DARPA MTOの歴代のMEMS分野プログラムマネージャー

名前	在任期間	出身母体	現職	配分資金（推定）
Ken Gabriel	1992-1997	カーネギーメロン大学	DARPA 副長官	N/A
Al Pisano	1997-1999	UC バークレー	UC バークレー教授	\$168 Mil
Abe Lee	1999-2001	ローレンスバークモア国立研究所	UCアーバイン教授	N/A
Bill Tang	1999-2002	NASAジェット推進研究所	UCアーバイン教授	N/A
Clark Nguyen	2002-2006	ミシガン大学	UC バークレー教授	>\$300 Mil
Dennis Polla	2004-2011	ミネソタ大学	IARPA	N/A
Amit Lal	2005-2009	コーネル大学	コーネル大学教授	\$200 Mil
Tom Kenny	2007-2011	スタンフォード大学	スタンフォード大学教授	>\$250 Mil
Jeff Rogers	2008-	HRL Laboratories	DARPA MTO PM	N/A
Andrei Shkel	2009-	UCアーバイン	DARPA MTO PM	N/A
Tayo Akinwande	2009-	マサチューセッツ工科大学	DARPA MTO PM	N/A
Jack Judy	2009-	UCLA	DARPA MTO PM	N/A

政府間人員法は、契約終了時の出身母体での身分を保証したうえで、米国の連邦機関、州・地方政府、高等教育機関、インディアン先住部族政府、その他の適格な政府から、もしくはそうした機関・政府への出向を可能にする制度である⁷。職員の在籍出向にかかわるコスト（給料、社会保障、旅費、引越し費用等）の分担は出身母体と出向先の間で協議して決められる。出身母体にとって優秀な研究者を数年間も政府機関に出向させるメリットは、研究者が大学内では簡単に得られないような経験、人的ネットワーク、技術知識を獲得するので、大学に戻ったときに新たな視点から研究や教育に貢献することが期待できる点である。出向する研究者自身にとってのメリットは、「リスクは高いが、成功したときの見返りが大きい」新規技術分野を発掘・推進する中心的役割を担うことで、技術研究開発の流れにインパクトを与えるというエキサイティングな経験ができることであろう。また、DARPA在籍後にはキャリアアップの展望が開けるといふ実利もある。

PMが獲得できる予算は同僚との熾烈な競争の結果である。DARPA全体の研究方向の中でいかに優れたプログラムを構想し、直接の上司であるオフィスディレクターと長官や副長官を説得できるかによって新規予算の規模が決まる。そのためには担当する技術分野のトレンドと主要研究者を熟知していなければならない。PMに力量がなければ獲得できる予算額は大幅に減少する。

3.2. 研究公募制度

DARPA が行う公募の大半は研究開発を目的としており、BAA（ブロード・エージェンシー・アナウンスメント）や RA（リサーチ・アナウンスメント）と呼ばれる方法で実施されることが多い。BAA では達成すべき研究内容や提案採択の基準を明らかにし、ニーズを満たす提案者からの応募を呼び掛ける。BAA に関する情報は www.fbo.gov、www.grants.gov および DARPA の公募ページに掲載される。RA はグラント（助成金）や協同契約の締結を意図している時だけに用いられる。もう一つは RFP（リクエスト・フォー・プロポーザル）と呼ばれる方法であり、BAA より利用頻度は低い。RFP では簡素化された調達基準を上回る物品やサービスを政府調達する必要がある時や共通の作業範囲記述書がある時に用いられる正式な競争公募方法である。

BAA は、連邦政府の調達規制（FAR）⁸ の Subpart 6.10: Use of competitive procedures（競争の手順の利用）と Subpart 35.016: Broad agency announcement（ブロード・エージェンシー・アナウンスメント）および FAR を修正した Competition in Contracting Act of 1984（CICA）に基づいている。特に、以下に示す Subpart 35.016（a）、（d）、（e）の条項（著者訳）は DARPA のプログラムマネージャーがプロポーザルを採択する際の大きな権限の根拠になっていると考えられる。

- (a) 一般。この段落は、基礎ならびに応用研究と、特定のシステムやハードウェア調達の開発に関与しない開発部分を獲得するために、ピアレビューもしくは科学的レビュー（6.102(d)(2)参照）を伴うブロード・エージェンシー・アナウンスメント（BAA）の利用手順を規定している。省庁は、最先端の高度化、知見の拡充、もしくは特定のシステムやハードウェアのソリューションに的を絞るといよりも理解することを目的とした科学的な研究や実験に対する省庁の要求を満たすために BAA を用いることができる。BAA のテクニックは、様々に異なる技術的/科学的アプローチを伴う有意義なプロポーザルが妥当に想定できる場合にのみ利用されるものとする。
- (d) BAA の結果として受領されたプロポーザルは、BAA に明記された評価基準にのっとり、ピアレビューもしくは科学的レビューのプロセスを通して評価されるものとする。個々のプロポーザルについて評価報告書は必要となるが、プロポーザルは共通の作業範囲記述書にしたがって提出されるわけではないので、プロポーザル同士を比較して評価する必要はない。
- (e) プロポーザルを承認するかどうかの採択根拠は主として、技術面、省庁のプログラムにとっての重要性、資金の利用可能性である。コスト面の現実性と妥当性も適切な範囲で考慮されるものとする。

BAA の公募期間は柔軟に設定できる。現在 www.fbo.gov のサイトで閲覧できる DARPA の公募情報を見ると、特定テーマの BAA では発表から 2~3 カ月後や半年後が締め切りになっているし、オフィスのプログラム全体に関わる BAA（いわゆる「オープン BAA」）では公募期間が 1 年以上に及ぶものもある。こうした「オープン BAA」は、特定の BAA に必ずしも適合しない革新的なアイデアを受け付けるための工夫と言える。

3.3. 研究コミュニティとの密接なつながり

DARPA の MEMS 関連プログラムでは、年 2 回程度、ファンディングを受けて研究開発を進める主要研究者（Principal Investigator : PI）を招集し、研究の進捗状況を報告させている。こうした PI ミーティングで PM がグループ討議の機会を設けて、MEMS 分野の第一線の研究者らが次に追求すべき技術テーマについて率直にアイデアを交換する場とすることもある。PM は通常の学会にも積極的に参加し、最新の研究動向について学ぶし、PI ミーティング以外にも、個別トピックのワークショップを主催することもある。このような活動を通じて、PM は研究コミュニティとの密接なつながりを保ち、新しいアイデアをプログラムの形にまとめ上げる役割を果たしている。

4. 「DARPA モデル」の適用拡大

米国ではここ 10 年ほど、DARPA にならって複数の省で「高等研究計画局」が設置された。まず、インテリジェンス・コミュニティのために先端的な情報技術研究開発を支援する試みとして 1998 年に中央情報局（CIA）長官と国防総省によって「ARDA（高等研究開発活動）」が設置された。この組織は後に「破壊的技術オフィス（DTO）」と改称され、2007 年には新設の「インテリジェンス高等研究計画局（IARPA）」に吸収された。IARPA 長官や一部のディレクターは DARPA プログラムマネージャーとしての経験を有している。IARPA でも BAA を活用し、革新的なアイデアを募っている⁹。

2002年に設置された国土安全保障高等研究計画局(HSARPA)は国土安全保障省科学技術局(Science & Technology Directorate)の一部局として、国土安全保障に資する画期的な研究開発を支援することを目的として、「国境・海洋警備」「化学・生物防衛」「サイバーセキュリティー」「爆発物」「人的要素・行動科学」「インフラ防護・大災害マネジメント」の6技術部を統括している。HSARPAからの資金は調達契約、グラント、協同契約、その他の取引を通じて、公的・民間機関、企業、連邦出資研究開発センター(FFRDC)、大学に配分されている¹⁰。

エネルギー省高等研究計画局(ARPA-E)が設置されたのは2007年だが、実際に予算措置がなされたのは2009年に入ってからである。ARPA-Eでは、「パワー・エレクトロニクス」「バッテリー技術」「ビル冷却技術」「非光合成バイオ燃料」「グリッド・エネルギー蓄積」「炭素補足」「その他」のプログラムを実施している。ARPA-Eが研究開発の助成を開始した初年度は総額で\$363 Milを121件のプロジェクトに配分した。DARPAがBAAを多用して研究公募を行うのに対して、ARPA-EではFOA(ファンディング・オポチュニティー・アナウンスメント)という方式でプロポーザルを募る。現在アクセス可能なFOA書類によれば、ARPA-EのFOAは最初の告知から1ヶ月後が「コンセプト・ペーパー」提出の締め切り、同3ヶ月後が正式な応募書類提出の締め切り、同5ヶ月後に採択結果が発表されることになっている。ARPA-Eの資金配分は通常、協同契約という形を取っている¹¹。

このように、過去10年間にインテリジェンス・コミュニティ、国土安全保障省、エネルギー省でDARPAに倣って先端研究開発の資金配分組織が形成されたわけであるが、マネジメントのスタイルはそれぞれの省の目的と性格によってばらつきがある。重要なのは、従来の研究開発支援とは異なるアプローチで競争的資金配分を行うチームを各省に作ることで、革新的なイノベーションを実現することを目指している点にあると思われる。

5. 考察

DARPAのMEMS関連プログラムの実例は、DARPAモデルが、要素技術の開発、研究コミュニティの拡大、産業界における商業化への貢献で成功を収めてきたことを物語っている。米国連邦政府の他の省による追随は、このモデルが革新的なイノベーションを可能にする有望なアプローチであることを示唆している。それでは、DARPAのような資金配分の手法は我が国にとってどのような意義があるだろうか。DARPAのモデルは科学コミュニティへの深い信頼感と、組織やプログラム内容の絶え間ない変化を当然視する柔軟な運用体制に基づいている。そのモデルは創設から50年以上の歴史を通じて徐々に進化し、確立されてきた実践であり、現在も新しい政治的文脈の中で変化しつつある。同じようなモデルを我が国で採用しようとしても、数々の課題に直面するだろう。例えば、DARPAモデルの中心的存在であるPMは民間の人材を一定期間登用しているが、日本の大学教官が3年も4年も教育や研究の現場から離れたら大きな不利益を被ることはないのか。どうすれば、PMの仕事はその負担感とリスクを補うほど魅力あるものにすることができるのか。真に革新的なイノベーションを目指すのであれば、国としてどの程度まで失敗を受容すべきなのか。こうした問いへのヒントは、DARPAや他の類似組織の運用体制をさらに深く研究し、近年の我が国の競争的研究資金の配分に関わる工夫点と比較することで得られると考えられる。

¹ DARPA ホームページ <http://www.darpa.mil/>

² 現在、DARPAには適応実施オフィス(AEO)、防衛科学オフィス(DSO)、情報イノベーションオフィス(I2O)、マイクロシステム技術オフィス(MTO)、戦略技術オフィス(STO)、戦術技術オフィス(TTO)の6つの技術研究室(オフィス)がある。DARPAではこれまでオフィスの組織変更も頻繁に行われてきた。

³ Tether, T. (2008) "Statement by Dr. Tony Tether, Director, Defense Advanced Research Projects Agency," Submitted to the Subcommittee on Terrorism, Unconventional Threats and Capabilities, House Armed Services Committee, United States House of Representatives," pp.1-3.

⁴ 現DARPA副長官で1992~97年までMEMSプログラムを担当したKen Gabrielの略歴による。

http://www.darpa.mil/About/Leadership/Deputy_Director_Bio_Dr_Gabriel.aspx

⁵ 著者の調査による。

⁶ 政策科学研究所(2004)『資金配分機構の国際的比較分析とその在り方』pp.93-101。

⁷ <http://www.opm.gov/programs/ipa/mobility.asp#RevisedIntergovernmentalPersonnel>

⁸ 政府調達規則(FAR) ホームページ <https://www.acquisition.gov/far/index.html>

⁹ IARPA ホームページ <http://www.iarpa.gov/>

¹⁰ HSARPAに関するページ http://www.dhs.gov/xabout/structure/editorial_0530.shtm

¹¹ ARPA-E ホームページ <http://arpa-e.energy.gov/>