

通信技術の進化に観る要素技術のイノベーションに関する研究

吉谷, 尚将 / YOSHITANI, Naomasa

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010508>

通信技術の進化に観る要素技術の イノベーションに関する研究

Research on innovation of technology elements to watch the evolution of communication technology

吉谷 尚将

Naomasa YOSHITANI

指導教員 藤井 章博

法政大学大学院工学研究科情報電子工学専攻修士課程

In the information society progresses, the need for discussion of the innovation of the Internet sector is growing. In this study, we use two concepts of disruptive technology and dominant design, to observe the innovation of communication protocol technology.

Key Words : RFC, Innovation, protocol, dominant design, disruptive technology.

1. はじめに

そもそもイノベーションとは、一般には新しい技術の発明と誤解されているが、それだけでなく新しいアイデアから社会的意義のある新たな価値を創造し、社会的に大きな変化をもたらす幅広い変革を意味する。情報化社会が進む中で、インターネット分野においてイノベーションの議論の必要性は高まっている。

インターネット分野における主に通信プロトコル技術に着目し、過去、または現在イノベーションが起きているかどうか検証を行う。これらの検証を行う為の分析対象として RFC を用いる。

2. 書誌学的アプローチとしての RFC

RFC (Request for Comments) とは、ARPANET 研究プロジェクトにおいて、通信機器の仕様を定めるにあたり、有識者からのコメントを促すための文章として始まった。RFC は技術仕様と開発者、日付と通番を持つ文章であり、1970 年代後半にその形式と内容と整備されて以来 30 年にわたって蓄積されてきた。研究プロジェクトが長期的に継続する過程で利用される通信プロトコルおよび通信機器の仕様を定めるための文章として重要な役割を演じて

きた。2014 年現在その採択数は、7000 件を越え、インターネット上によく整備された形で公開されている。即ち、RFC は通信プロトコルに関する技術の変遷をよく記録しているデータベースであるとみなすことができる。

3. 分析概念

通信プロトコル技術におけるイノベーションを観測する為に以下の 2 つの分析概念を用いた。

① ドミナント・デザイン

「ドミナント・デザイン」という分析概念に基づくと、新規産業は、草創期において様々な製品アーキテクチャの試みがなされるが、一旦そのデザインが確立されると、それは支配的となり、その後の技術革新は生産技術など別な方向に向けられるとしている。アッターバック (Utterback) らは、産業の発展を説明するモデルにおいて、「ドミナント・デザイン」という概念を用いている。産業の発展には段階がある。初期の段階では、産業の核となる製品に関する「ドミナント・デザイン」の確立が行われる。その後、その産業における技術革新の方向は、製品に関するものから、産業行程などに向かうとしている。その際の企業数の推移例を以下の図 1 からわかるように、一旦その

デザインが確立されると、その後に企業が参入できないのである。

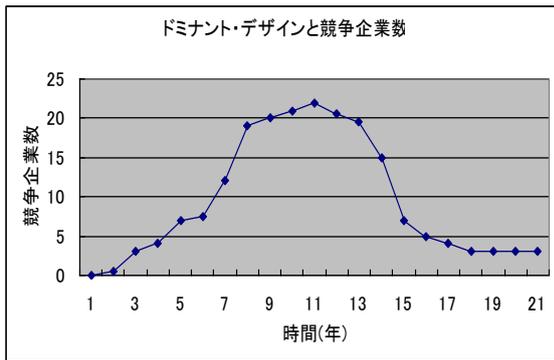


図1 「ドミナント・デザイン」と競争企業数

本論文では、通信プロトコル技術の発達においても、アッターバックらが提唱した「ドミナント・デザイン」の概念が適用できると考える。

② 破壊的技術

過去に、業界をリードしていた企業が、ある種の市場や技術の変化に直面したとき、その地位を守ることには失敗することがある。もちろん、企業がつまづくには官僚主義、慢心、血族経営の疲弊、計画の乏しさ、近眼視的な投資、能力と資源の不足、単なる不幸など、さまざまな理由がある。しかし、そのような弱点を持った企業の失敗ではない。

新技術のほとんどは、製品の性能を高めるものである。これを「持続的技術」と呼ぶ。あらゆる持続的技術に共通するのは、主要市場のメインの顧客が既存の性能指標で評価すると、既存の製品より性能が向上する点である。だが、きわめて抜本的な難しい持続的技術でさえ、大手企業の失敗に繋がることはめったにない。

しかし、「破壊的技術」が現れる場合がある。これは、少なくとも短期的には、製品の性能を引き下げる効果を持つ技術である。皮肉なことに、多くの企業を失敗に導いたのは破壊的技術である。

破壊的技術は単に新事業や新市場を生み出すだけでなく、その後の持続的な技術によって製品・サービスが改良・改善され、既存市場の顧客が要求する性能水準を超えると既存市場を侵食し、この市場を基盤とする優良企業の地位を危うくする。このような業界変動の事例として、クリステンセンらは次の破壊的技術を挙げている。以下の表1に示す。

表1 破壊的技術の例

	確立された技術	破壊的技術
コンピュータ	メインフレーム技術	ミニコンピュータ技術
コンピュータ	ミニコンピュータ技術	パーソナルコンピュータ技術
掘削機	ケーブル式掘削機	油圧式掘削機
ラジオ受信機	真空管式ラジオ技術	トランジスタ・ラジオ技術
HDDアーキテクチャ	14インチ・ウィンチェスタードライブ	8インチHDD
HDDアーキテクチャ	8インチHDD	5.25インチHDD
HDDアーキテクチャ	5.25インチHDD	3.5インチHDD
乾式コピー装置	業務用乾式コピー機技術	小型卓上コピー機技術

破壊的技術は従来とはまったく異なる価値基準を市場にもたらす。一般的に、破壊的技術の性能が既存製品の性能を下回るのは、主流市場での話である。しかし、破壊的技術には、そのほかに、主流から外れた少数の、たいていは新しい顧客に評価される特徴がある。破壊的技術を利用した製品のほうが通常は低価格、単純、小型で、使い勝手が良い場合が多いのである。また、破壊的技術の優れた特長を高く評価する、小規模で新しい市場を創出することになる。破壊的技術が登場すると、大企業は結果的に対応が遅れ、新規参入企業に新しい市場を奪われ、失敗する。本論文においてもこの概念が適用できると考える。

4. 年次別採択数による分析

RFCの全体的傾向を把握するため、図2に採択文書の年次別の採択数の推移を示す。この図から、インターネットは枯れた技術の体系ではなく、現在でも多くの技術者・研究者からの要素技術に関する提案を受け、それを採択するまで議論・検討を行うという努力が続けられていることが分かる。次に、過去の年次別の採択数を見ると、1970年代に採択数の最初のピークが表れる。これは、インターネットにおける通信プロトコルの基本であるTCP/IPと呼ばれる一連の要素技術に関する取り決めがこの時期に集中して起こったことに起因する。この時期、TCP/IP以外にも汎用の通信規約の候補が存在した。しかし、1970年代の前半に活発であった議論は、75年ごろには一旦落ち着きを見せている。これは、いわゆる「ドミナント・デザイン」を形成していると解釈できる。つまり、この時点で、広域情報ネットワークを実現するため通信規約に関して一定水準の体系、この場合は、TCP/IPプロトコルが確立したとみなすことができる。また、1992年ごろを境に採択数が急激に増加している。この年は、インターネットが学術利用目的に限定した状態から商用利用に開放された

年である。また、このころインターネットを利用した「ホームページ」、WWW（World Wide Web）の利用が始まる。こうした要因によって、一旦落ち着いた採択数は増大してきた。

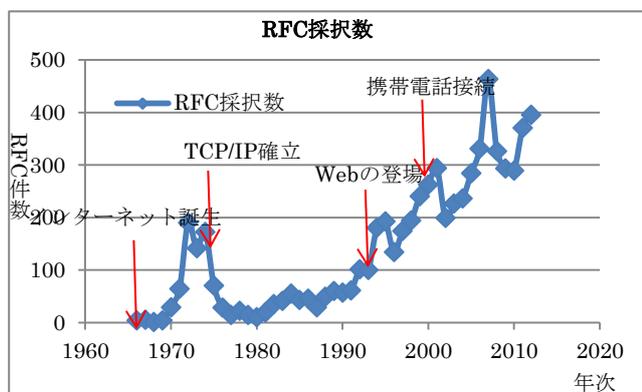


図 2 年次別採択数の推移

5. 個別の要素技術に対する分析と考察

① 分析手法

RFC 文書本文からテキストマイニング技術を用いて情報を抽出し、ある特定の技術がどの年代に特徴的にでてくるかを分析する。分析には統計解析に適したソフト R と形態素解析ソフト和布蕪 (MeCab) を使用した。今回注目した技術は「OSI」「TCP/IP」「ATM」「OSPF」「MPLS」の 5 つの技術である。今回は R と MeCab を利用して RFC 文書本文中にでてくる単語の頻度分析を行い、各 RFC 番号に対して特長的な単語を抽出する。手順として頻度分析効率よく行うため C 言語を用いて全ての RFC 文書から記号と数字を除外し、残った英語を全て小文字に変換した。RFC 文書全体で頻度分析を行い頻度数が高かった上位 500 語を視認し、冠詞や前置詞、固有名詞などの分析に不必要だと判断した単語を除外した。各 RFC 番号に対して頻度分析を行い各々頻度の高い上位 10 単語をその RFC の特徴的な単語群とする。RFC1~RFC6000 までの特徴的な単語群の集合を RFC まとめとする。

作成した RFC まとめから各技術の単語が各 RFC 番号の特徴的な単語に含まれているのか調査した結果「OSI」「TCP/IP」「ATM」「OSPF」「MPLS」に関していくつかの RFC 番号で一致が確認できた。それらの RFC 番号の採択年数ごとのグラフを作成した結果が図 2~5 である。今後グラフから読み取れるデータと現実の技術史との比較を行い考察を行う。

② OSI、TCP/IP に対する分析と考察

OSI (Open Systems Interconnection : 開放型システム間相互接続) とは国際的に定められた通信規約の標準の体系を意味する用語である。OSI の取り組みは 1977 年に ISO で開始され、参照モデルが国際規格になったのは 1984 年である。OSI では、すべてのネットワーク機器に採用されることを目標として開発が進められたため、一時期は、相互接続ネットワークのプロトコルとして勢力を広げていた TCP/IP と競合する関係にあった。RFC のなかに、OSI に関する議論の過程を見て取れる。図 2 は、技術文書中出现する「OSI」という用語と「TCPIP」という用語の比較を行っている。「OSI」が通信規約の体系であるのに対して、TCP と IP はそれぞれ個別の通信規約の名称である。そこで、「TCPIP」という形で二語を連続させた語句は、OSI に対して「TCP と IP を核とする通信規約の体系」を意味している。なお、「TCPIP」は、一般的な表記である「TCP/IP」という通常の表記から「/」を除いて統計処理を施した。以下の図 2 から、「OSI」と「TCPIP」を文書中に含む RFC の数が 80 年代の後半から上昇し、90 年代前半にともにピークを向かえ、2000 年ごろには、落ち着いている。このことから、80 年代後半から 90 年代にかけて、これらの 2 つの通信規約の体系についての検討が盛んに行われてきたことがわかる。

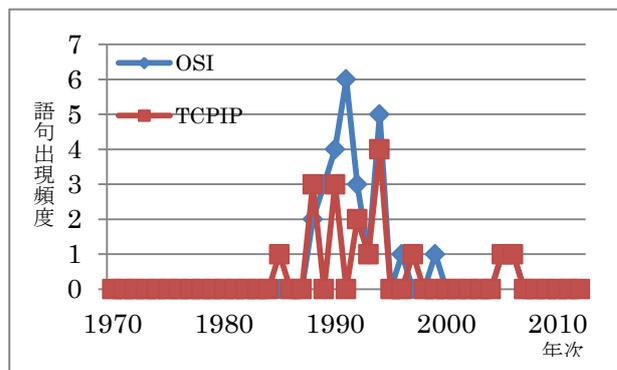


図 2 RFC の推移 (OSI, TCPIP)

結果的には、OSI は国際標準として広く普及するには至っておらず、1980 年ごろ RFC に採択された TCP/IP の体系が、インターネットの標準プロトコルとして広く普及し、実質的な業界標準となっている。ISO が国際ネットワークのプロトコルを目指し、各国の正式な代表が集まって協議するのに対し、IETF は国際ボランティア団体でインターネット技術者の集団である。技術標準化の特徴も ISO が

トップダウンに対し、IETF はボトムアップに規格が決められる。つまり ISO が国やメーカーの意見を重要視している一方で、IETF は実際に作っている技術者サイドが中心になっている。利便性や機能性を求めると、技術者サイドの規格に合わせた方が、効率が良くなる。これらの事柄が、業界標準が OSI から TCP/IP へ移行した理由である。またこれらのことから、OSI の開発に時間がかかりすぎたことや、できあがった仕様が複雑であったことなどが原因にあげられる。ISO には世界中の標準化組織がメンバーとして参加しており、そのメンバー全員の同意を得るには、OSI の完璧な仕様を作成しなければならないうえに、(各メーカーや団体間の) 政治的な駆け引きや利害関係なども絡み合い、その作業には多くの時間が必要であったからである。TCP/IP は、そのあいだに「ドミナント・デザイン」となり、市場を勝ち取った。

③ ATM に対する分析と考察

パケット交換方式として 90 年代前半に盛んに検討された ATM 方式 (Asynchronous Transmission Mode : 非同同期伝送方式) は、その後のやってくるマルチメディア通信を実現するための要の技術ということで期待された通信方式である。インターネット上の通信を支える交換機器は、呼び方は様々であるが、大別すると、通信網の基幹を成す大規模なバックボーンルータとその周辺のエッジルータという 2 種類に分類できる。ATM 方式は、エッジルータの技術としては普及しなかったが、バックボーンルータの技術としては普及している。図 3 を見ると、「ATM」という用語は、90 年代初頭から 10 年間の間に議論の対象となった。92 年にインターネット商用接続が開始され、同時期に WWW の利用が始まった。そのため、急速にインターネットを利用する通信量が拡大した。その過程で、バックボーンルータの技術革新は重要であり、90 年代から 2000 年代初頭のピークは、そうした状況を反映した検討の跡であると考えられる。バックボーンルータは、大規模な通信網設備を運営する通信キャリアなどに特化した技術分野であるため、2000 年代の初頭以降は、IETF への参加メンバーが議論する RFC の対象から外れていったと考えられる。

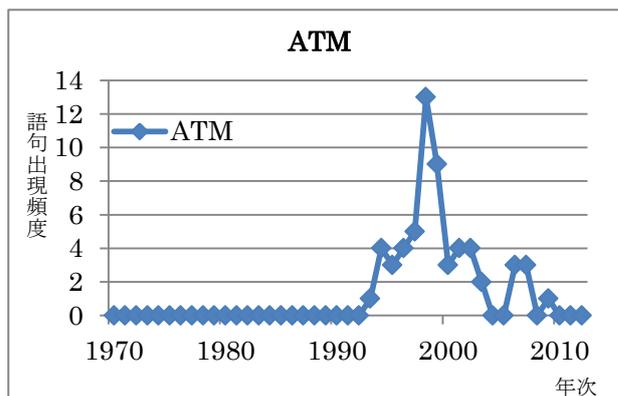


図 3 RFC の推移 (ATM)

④ OSPF に対する分析と考察

OSPF (Open Shortest Path First) とは、小規模から大規模のネットワーク向けのリンクステート型ルーティング・プロトコルである。RIP よりも高機能で大規模なネットワーク向けである。現在、多くの通信事業者や一般企業が OSPF を使って LAN や WAN を運用している。階層化したルーティングを実現できる点が特徴で、ネットワークをエリアと呼ぶ小さな単位に分割し、エリア間をバックボーンで結ぶ。ルーティングはリンク・ステート・アルゴリズムに基づいて実行するため、伝送路の帯域幅やユーザが指定した「コスト値」をパラメータとして組み込むことができ、ホップ数 (経由するルーター台数) だけに基づく単純な RIP ルーティングよりもネットワークを有効利用できる。また、OSPF は機能の拡張なども行われており、以下の図 4 をみると 1990 年代後半からの採択数の増加はこのことに起因すると考えられる。

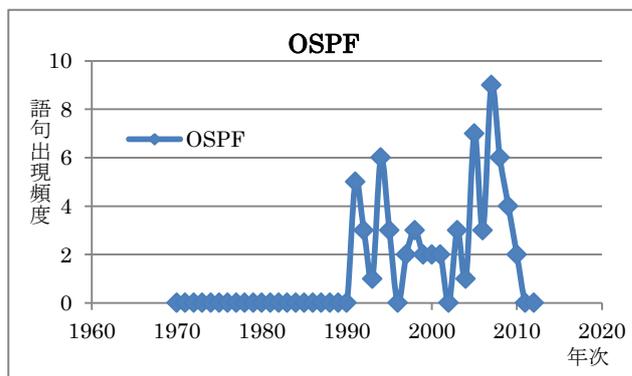


図 4 RFC の推移 (OSPF)

⑤ MPLS に対する分析と考察

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) とは、IETF が標準化を進めているラベルスイッチング方式を用いた

パケット転送技術である。現在インターネットで主流となっているルータを用いたパケットリレー式のデータ転送を、より高速・大容量化する技術である。大きな利点としては、VPN(Virtual Private Network:仮想私設回線網)サービスを可能にすることができる所である。

以下図5のRFCの採択数の推移をみると、近年とても活発に議論されている技術であるとわかる。このことから通信プロトコルであるMPLSは、現在普及し始めた新しいサービスの中核となっている技術であると、推測することができる。

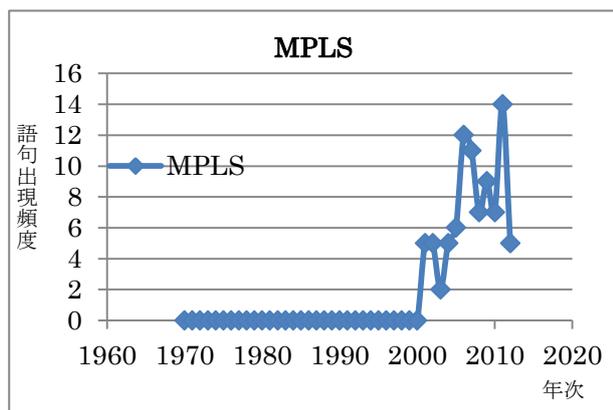


図5 RFCの推移 (MPLS)

VPNサービスとは、ネットワークをユーザごとや使用目的ごとに論理的に分割することができ、完全に独立したネットワークとして動作させることが可能である。MPLSは、現在普及しているIP-VPNサービスのバックボーンとなっているインターネットプロトコルである。技術の仕様としては、MPLS対応のルータを使用し、インターネットとは別に構成されたIP網で、VPNを構成する通信事業者のサービスである。IP上に構築される専用線網であるが、従来の専用線に比べ低コストでの利用が可能である。ISPの閉域網(=外部公開されていない通信網)を利用することでの安全性は確保されるが、その信頼度はサービス提供者に委ねる形となるため、ラベル技術や暗号化技術をもってセキュリティを確保する形での専用線利用となる。これは、現在多くの企業が利用しているサービスであり、推測通りの結果となった。IP-VPNサービスは低コストを望む中小企業で特に導入が進んでおり、従来の広域イーサネットサービスに対する破壊的技術としての条件を満たしていると言えるであろう。

6. 最近の動向

以下の表2に2010年~2012年中頃までのRFCで話題に上がっている語句を示す。

表2 最近の頻出語句

No.	語彙	内容	頻度
1	MPLS	高速通信のための交換機技術	36
2	Security	安全性、セキュリティ	32
3	Authentication	認証	31
4	RTP	高速の転送プロトコル	31
5	Multicast	一対多通信	20
6	Cryptographic	暗号化	17
7	Mobile	モバイル	15
8	Congestion	輻輳	10
9	RTCP	高速の転送プロトコル	10
10	Certificate	認証	10
11	Elliptic	楕円(楕円鍵暗号の名称の一部)	10
12	Kerberos	ケルベロス(認証方式の名称)	10
13	GMPLS	1の「MPLS」の改良形	10
14	vCard	名刺アプリケーション	8

表2からもわかるように、セキュリティ、ネットワーク関連の語句が多い。また、これは先ほど述べたIP-VPNサービスの欠点を補う技術の仕様を定めた文書が多いのだろうと予測できる。

7. まとめ

TCP/IPは「ドミナント・デザイン」、MPLSは「破壊的技術」としてイノベーションを起こしたとははっきり言うことができた。このことから本研究の目的を達することができたといえる。また、他の技術においてもRFCの推移と現実の技術史との比較を行い、さまざまな推論を立てることができた。今回の調査で、RFCは通信プロトコル技術の発達の議論をするのに非常に有用であるということが言えた。

参考文献

- 1) 「イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき」クレイトン・クリステンセン著(翔泳社)
- 2) 「イノベーション・ダイナミクス」J.M.アッターバック/大津正和・小川進監訳(有斐閣)
- 3) 科学技術動向2014年1・2月号(142)号「技術文書に見るインターネット要素技術の動向」藤井章博