

アクセスネットワークにおける主要事業の効率化に向けた
研究

2016年 3月

金井 俊介

アクセスネットワークにおける主要事業の効率化に向けた
研究

金井 俊介

システム情報工学研究科
筑波大学

2016年 3月

要旨

昨今の日本経済は、円高の中で日本の GDP 成長率も増加を示しており、徐々にではあるが回復基調に有る。また、その回復基調を助長するように 2020 年にオリンピック開催が東京で行われることが決定し、国内においても更なる通信ネットワークの強化が進められている。ここでいう通信ネットワークとは、コアネットワークとアクセスネットワークを指す。コアネットワークは県間、県内の市町村間を結ぶものであり、アクセスネットワークは県内の市町村にある通信局からユーザ宅を結ぶものである。

現在、世界の通信産業も長い低迷から復活の兆しが見えている。しかし、海外では 2000 年初頭に米国において発生した IT バブルの崩壊に始まり、各国の通信会社の倒産・価格競争の爪痕が今でも残っている。今後、通信産業世界二位の規模を誇る日本が世界の通信産業をリードしていく必要があることには変わりはなく、通信会社における主要事業を効率化させることで、日本の通信産業を活性化させる必要がある。

通信ネットワークの資産規模は、技術的な理由などでコアネットワークよりアクセスネットワークが大きい。またアクセスネットワークの主要事業は、概ね 4 つの事業からなる。①効率的に資産を取得するため、設備投資を実行し、②取得した資産（設備）を効率的に管理し、③ユーザからの申告によりサービス開通を実施する際には、適切なネットワークルートを選定・開通し、④開通後のユーザのサービス品質（Quality of Service : QoS）を制御ながら保守する、こととなる。つまり、資産規模が大きいアクセスネットワークの①設備投資→②設備管理→③設備選定→④開通後の QoS 制御の 4 つの事業を効率的に運用することで、コスト低減に繋がり、引いては通信産業の活性化に繋がる。

本論文では、アクセスネットワークの 4 つの主要事業のうち、3 つの主要事業の課題を明確化し、効率化に向けたスキームもしくはアルゴリズムを提案する。まず設備投資については、資産リスクを排除して新たな資金調達を可能にする手段として証券化スキームを提案する。提案スキームを導入することで投資効率（ROI : Return On Investment）及び自己資本利益率（ROE : Return On Equity）を平均 361%向上することを実証する。次に、設備選定については、市場拡大期の選定業務には需要に比例して多くの処理量が発生するため、選定時間を最適化するアルゴリズムを提案し、処理量を 29%効率化することを実証する。また、市場安定期の選定では、接続点などの物理情報だけではなく帯域情報などの論理情報を加味した選定が必須となるため、安定期に適したアルゴリズムを提案し、共有帯域を平均 20.5%効率化することを実証する。最後に、開通後の QoS 制御については、収容ユーザ数や収容可能距離が向上する次期装置が開発された場合、通信品質を指す帯域利用効率と遅延時間が低下する。そこで、次期装置の通信品質を制御するアルゴリズムを提案し、帯域利用効率と遅延時間を平均 29.0%効率化することを実証する。また、設備管理については、先行研究として受動的な光ファイバ設備に識別情報を貼付するスキームを紹介し、登録、接続などの作業時間を平均 45%効率化することを紹介する。

以上の結果から，日本のアクセスネットワークの 4 つの主要事業を効率化することで，通信産業の活性化につなげる．

目次

1 章：序章.....	1
1-1：通信産業の現状.....	1
1-2：日本の通信ネットワークの特性.....	3
1-3：日本のアクセスネットワークの位置付け.....	6
1-4：先行研究調査からの本論文の到達点.....	8
2 章：設備管理に関する先行研究.....	11
2-1：序文.....	11
2-2：所内光媒体の管理の課題.....	12
2-3：所内光媒体の設備管理方法.....	14
2-4：所内光媒体の設備管理手法の効果検証例.....	16
2-5：設備管理への考察.....	17
3 章：設備投資への研究.....	18
3-1：序文.....	18
3-2：アクセスネットワークへの設備投資の課題と対策.....	19
3-3：アクセスネットワークへの証券化スキームのモデル検討.....	21
3-3-1：証券化スキームの提案.....	21
3-3-2：証券化スキームの実現性の検討.....	24
3-4：証券化の効果の検討.....	31
3-4-1：証券化における信用リスクの定量化における検討.....	31
3-4-2：シミュレーションの実施.....	33
3-5：設備投資への考察.....	41
4 章：設備選定への研究.....	42
4-1：市場拡大期でのアクセスネットワーク全体の処理量を加味した選定.....	43
4-1-1：序文.....	43
4-1-2：現状把握と問題設定.....	46
4-1-3：提案する選定アルゴリズム.....	50
4-1-4：最適化手法の検証.....	53
4-1-5：選定処理量の考察.....	56
4-2：市場安定期でのアクセスネットワークでの論理情報を加味した選定.....	57
4-2-1：序文.....	57
4-2-2：アクセスネットワークへの論理情報に対する課題.....	59
4-2-3：提案する収容設計手法.....	63
4-2-4：提案する収容設計手順.....	69
4-2-5：設備選定アルゴリズムの検証.....	75

4-3 : 設備選定への考察	77
5章 : 開通後の QoS 制御への研究	78
5-1 : 序文	78
5-2 : 開通後の QoS 制御への課題と対策	79
5-3 : 提案する制御方法	84
5-3-1 : パラメータの特定と要求条件の明確化	84
5-3-2 : 提案アルゴリズム	85
5-4 : 提案アルゴリズムの適用範囲の提案	91
5-5 : 開通後の QoS 制御のへの考察	96
6章 : まとめと今後の課題	97
参考文献	99
謝辞	109

1 章：序章

1-1：通信産業の現状

世界主要各国の1994年から2012年の国内総生産（GDP）の伸び率は、アメリカ、中国の2国以外は停滞している（図1-1）。先進国の中では、日本が1995年のバブル崩壊を機に低迷を続け、2010年には中国に抜かれ世界3位のGDPとなった。しかし、日本のGDPは2008年以降徐々にではあるが回復傾向にある。

図1-1のグラフでは、日本のGDPが2013年に大きく落ち込んでいるように見える。しかし、大きな理由としては円安の原因が大きく、1995年に発生した不景気前の水準によく回復していたといえる。産業別の割合で見ると、通信産業が全体の10.7%を占める（表1-2）。また、通信産業のGDPの伸び率は全産業の中でも高いことから、通信産業の活性化は日本の経済に大きく影響するといえる。この通信産業を支える通信会社について、日本は世界を先導する立場にあるといえる。2013年の世界の通信会社のなかの売上高上位20社の売上高を国毎に合算したグラフを示す（図1-3）。

図1-1のGDPでは、アメリカ、中国に次いで日本が3位である。しかし、通信産業の売上高の場合、中国など通信インフラが未整備な国があるため、順位が変わりアメリカと日本とは大差がないことが分かる。また、図1-3には国別に売上高上位20社の主要通信会社の数も示している。上位20社の中に日本が4社（日本電信電話株式会社（NTT）、株式会社NTTドコモ（NTTDoCoMo）、ソフトバンクグループ株式会社（SoftBank）、KDDI株式会社（KDDI））を占めており、アメリカの3社（AT&T、Verizon、Centurylink）を超える企業数である。このことから日本の通信産業は、一昔前のNTT一社独占風潮ではなく、世界規模の通信会社による正常な競争状況にあるといえる。

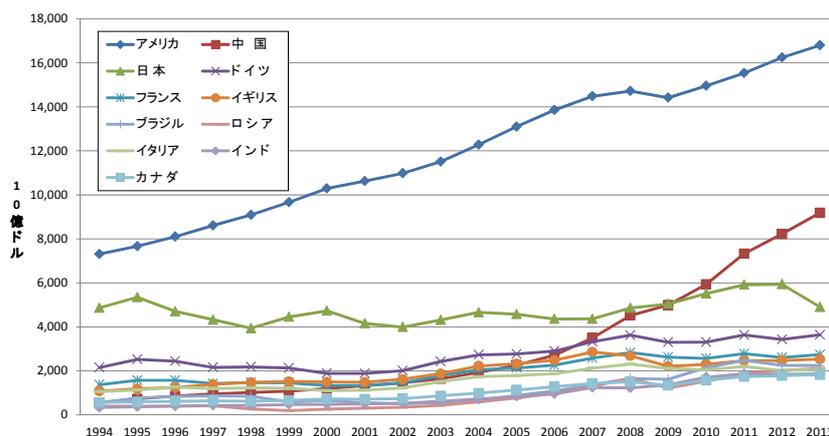


図1-1：世界GDPのトップ11国（2013年）

引用元：「GDPの国際比較」国民経済計算（GDP統計）：

<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>

表 1-2：日本の通信産業の GDP と伸び率

単位：兆円

	実質 GDP	比率	伸び率
通信産業	50.4	10.7%	3.7%
電気機械(除情報通信機器)	9.0	1.9%	4.0%
輸送機械	9.5	2.0%	0.3%
建設(除電気通信施設建設)	24.4	5.2%	-2.9%
卸売	37.5	8.0%	-0.1%
小売	24.4	5.2%	-0.9%
運輸	23.5	5.0%	1.1%
鉄鋼	5.2	1.1%	-0.6%
その他産業	285.3	60.8%	-

引用元 総務省「ICTの経済分析に関する調査」(2014年)

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/link/link03.html>

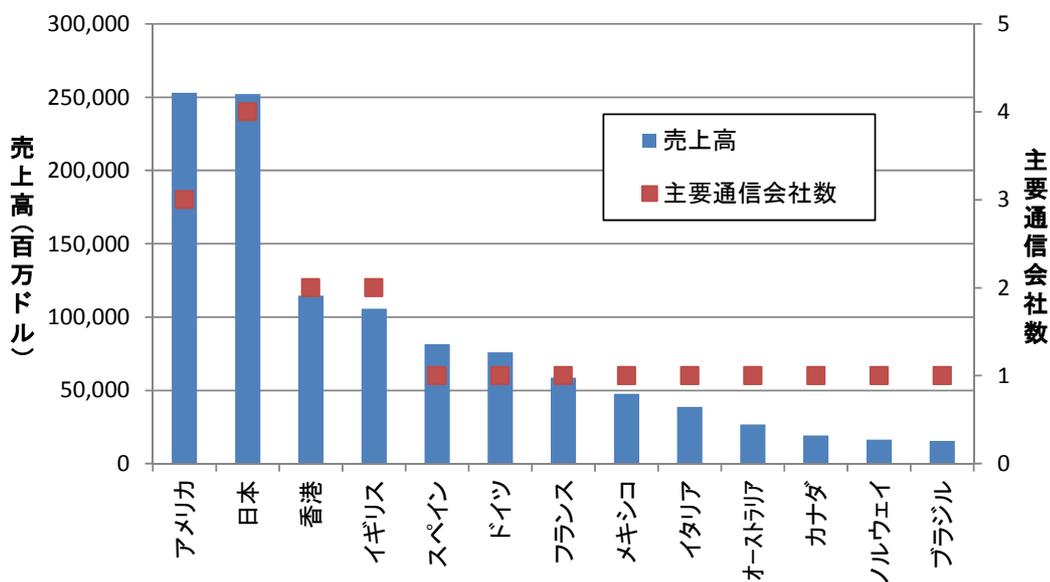


図 1-3：世界各国の主要通信会社の売上高合計 (2013年)

引用元：総務省 情報通信白書 25年版

「図表 1-2-2-17 世界通信事業者における売上比較」

1-2：日本の通信ネットワークの特性

日本の通信会社は法規制などにより、海外の通信会社とは異なるビジネスモデルを持つ。世界の通信会社のビジネスモデルは、通信ネットワークの管理業務を外部ベンダへ委託することで投資・運用コストを削減し、クラウドコンピューティングやデータセンターなどの事業へ集中する方向にある。これに対し、日本の通信会社は、通信ネットワークの管理業務を通信会社で保持しており、海外に比べて広範な事業展開が可能である（図 1-4）。このような日本独特のビジネスモデルは、「電気通信事業法」の規制による。日本の通信ネットワークは、もともと国営（電信電話公社）管理であった。1985年に電信電話公社がNTT（日本電信電話株式会社）へ民営化され、1997年にはNTTと他の通信会社（以下、他事業者）との公平性確保の観点から「接続ルールの制度化」というNTTの通信ネットワークを他事業者が使えるようにする法改正を実施している（図 1-5）。また、2010年にはNTTの通信ネットワークの管理業務を委託子会社に対して監督義務化することになったが、NTTと資本関係にない外部ベンダへ委託することは許可されていない（図 1-5）。つまり、日本の通信ネットワークは、依然としてNTTのシェアが高いので、他事業者との公平性保持のため、NTTのような通信会社で管理する必要があった。結果的に、日本は海外の通信会社のように通信ネットワークの管理業務を外部ベンダへ委託する効率化ができずにいた。

このような特性を持つ日本国内の通信ネットワークは、県間・県内の市町村間を結ぶ「コアネットワーク（図 1-6）」と県内の市町村にある通信局とユーザ宅を結ぶ「アクセスネットワーク（図 1-7）」がある。国内のコアネットワークとアクセスネットワークの資産規模は、アクセスネットワークの方がコアネットワークと比較して大きい。2003年のデータによると[1]、ケーブル延長はコアネットワークが27万kmなのに対しアクセスネットワークは37万kmと長く、さらに心線延長に関しては、コアネットワークが1825心万kmに対し、アクセスネットワークが3778心万kmと2倍以上の差があった。両ネットワークで使用可能な技術・業務量の差から現在でもアクセスネットワークの資産規模が大きいといえる。具体的には、表 1-8 のようにコアネットワークでは多重化・圧縮技術を伝送装置に搭載することで伝送装置間の通信は少量の伝送媒体（光ファイバ）で通信可能となっている。対して、アクセスネットワークでは、無数にある個々のユーザ宅に多重化・圧縮技術を搭載した高価な伝送装置を設置することは、サービス使用料に跳ね返ってくる。よって、アクセスネットワークでは、安価な伝送装置を置かざる負えなく、無多重・非圧縮のため必然的に伝送媒体（光ファイバ）も多量に必要となる。更には、両ネットワークで、業務量（開通工事など）にも差がある。コアネットワークの場合、トラフィック（通信量）の想定量を超えない限り、コアネットワークの増設工事は不要である。しかし、表 1-8 のようにアクセスネットワークの場合、ユーザ宅までの光ファイバが敷設されていないことが多く、新規ユーザに対してサービスの開通工事が必要であることが多い。このため、コアネットワークに比べてアクセスネットワークの業務量が多い。以上から、日本の通信産業を活性化する

には、資産量、業務量が多いアクセスネットワークに関する主要事業に対して、諸外国とは異なるやり方で効率化することが鍵となるといえる。

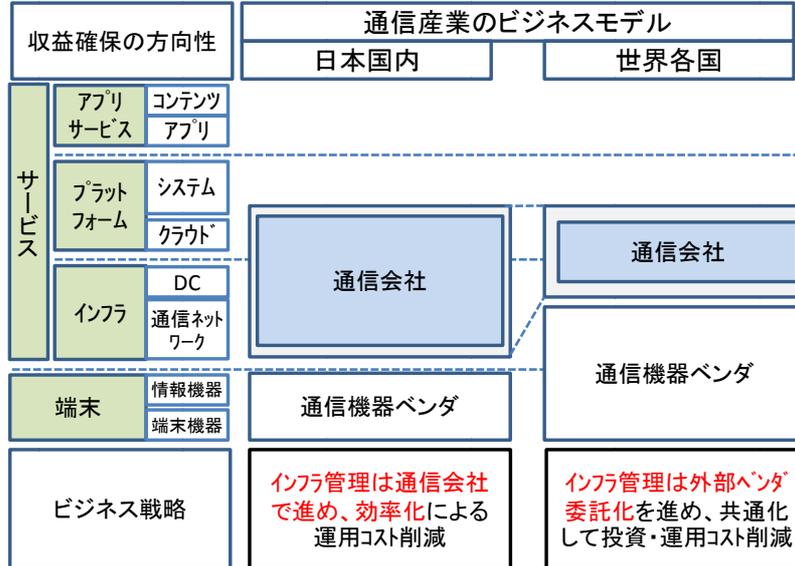


図 1-4：国内、国外の通信会社における戦略の比較

引用元：総務省 情報通信白書 25年版

(図表 1-2-2-24 通信事業者の国内・国外におけるビジネスモデル)

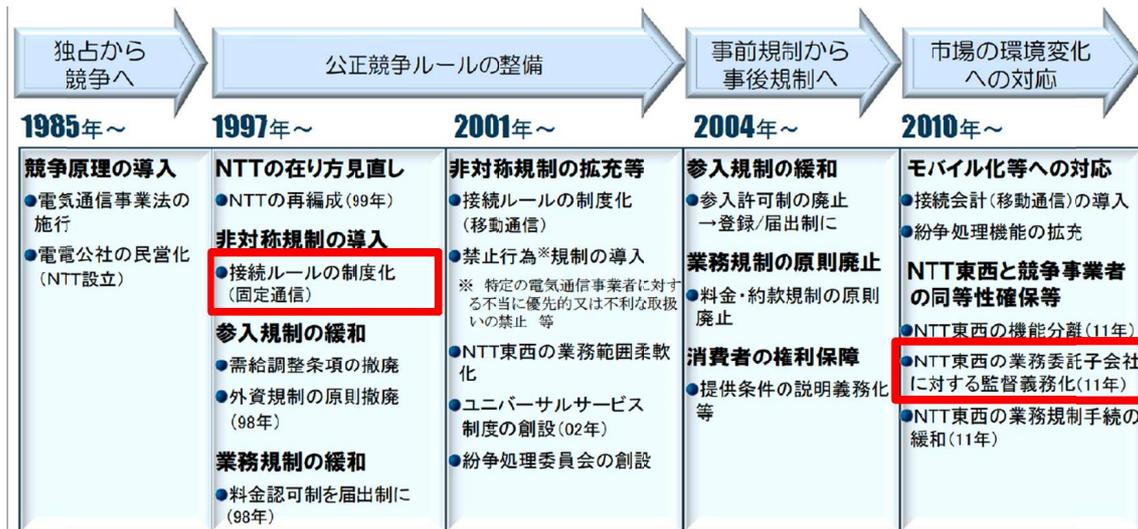


図 1-5：日本国内の電気通信事業法による NTT の規制（転載）

引用元：情報通信審議会 2020-ICT 基盤政策特別部会 基本政策委員会（第 8 回）配布資料
 ・資料 8-2 市場の環境変化を踏まえた NTT グループを中心とした規律の在り方

http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/02kiban02_03000193.html

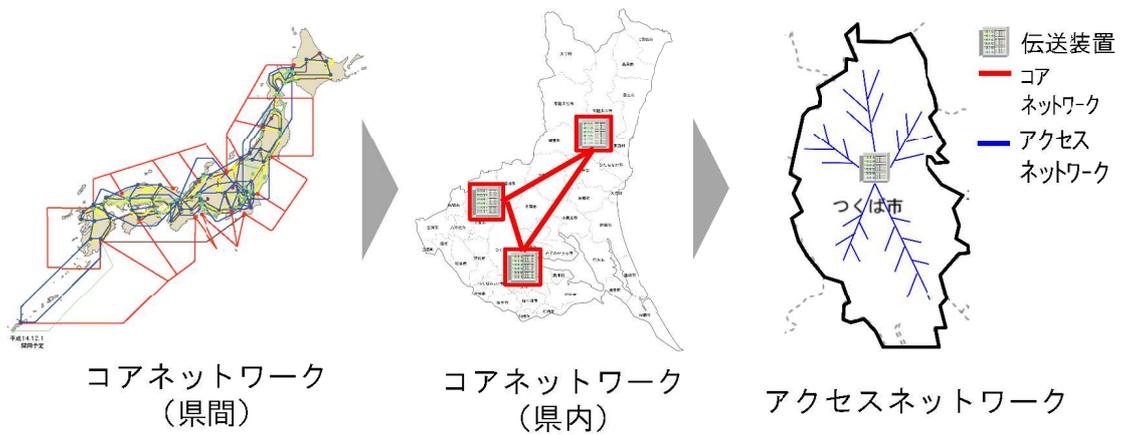


図 1-6：通信ネットワークの構成

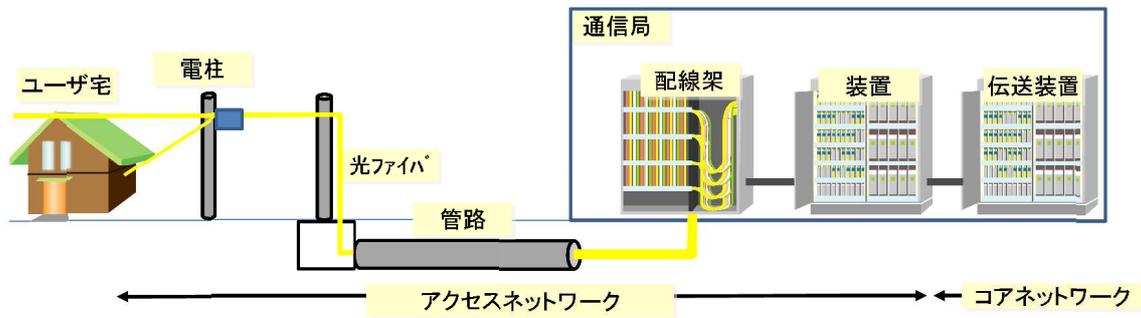


図 1-7：アクセスネットワークの構成

表 1-8：ネットワーク種別毎の特徴

	コアネットワーク	アクセスネットワーク
多重度	多	少
圧縮有無	可	不可
開通工事	少	多

1-3：日本のアクセスネットワークの位置付け

前節の日本の通信産業のビジネスモデル（図 1-4）の背景には、新規参入となる他事業者の参入障害を取り払うという総務省の施策があった。通信産業は、莫大な設備投資によって事業基盤である通信ネットワークが構築される。総務省は、他事業者の設備投資が参入障害となることを避けるべく、NTT グループの通信ネットワークとの相互接続を義務化した（図 1-5「接続ルールの制度化」）。これによって通信産業は、他事業者の参入が増え（図 1-9）、競争が増すことでブロードバンド契約数は増加した（図 1-10）。しかし、この制度により日本のアクセスネットワークは、依然として NTT 東西会社のシェアが約 85%であり[2]、同社では自社と他事業者の需要を踏まえた設備投資が必要になるため、通信会社の 4 つの主要事業の内、設備投資事業だけは NTT 東西会社が大きな影響を持つことになった。NTT 東西会社にとっての相互接続業務は、年々収益性が低くなっており、結果的に NTT 東西会社の設備投資額も年々減少している。総務省の審議会「2020-ICT 基盤政策特別部会」は、更に他事業者の参入障壁を下げるため、相互接続料を年々低下させている[3][4]。相互接続料の算定方法である「将来原価方式（相互接続料＝接続原価÷通信量等（需要）」は、通信産業が活性化して分母である通信量が増えるほど接続料が減る仕組みである。更に、通信量を図る「ブロードバンド契約数」は、増加傾向（図 1-10）にあり年々相互接続料が減少している。その影響から、NTT 東西会社の設備投資意欲を下げるスパイラルを招き、収益確保のため同社の設備投資額は年々減少している（図 1-11）。以上から、日本のアクセスネットワークの主要事業の内、設備投資については、NTT 東西会社の設備投資の効率化が必要となる。

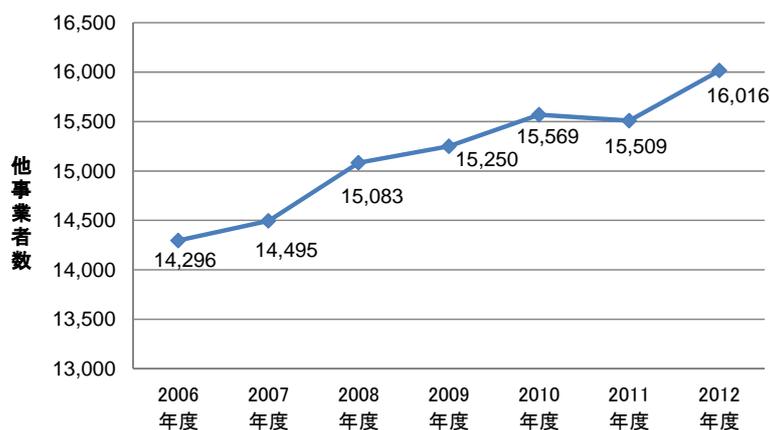


図 1-9：年度毎の相互接続事業者数の推移

引用元：総務省 情報通信白書 25年版「図表 4-5-1-5 電気通信事業者数の推移」

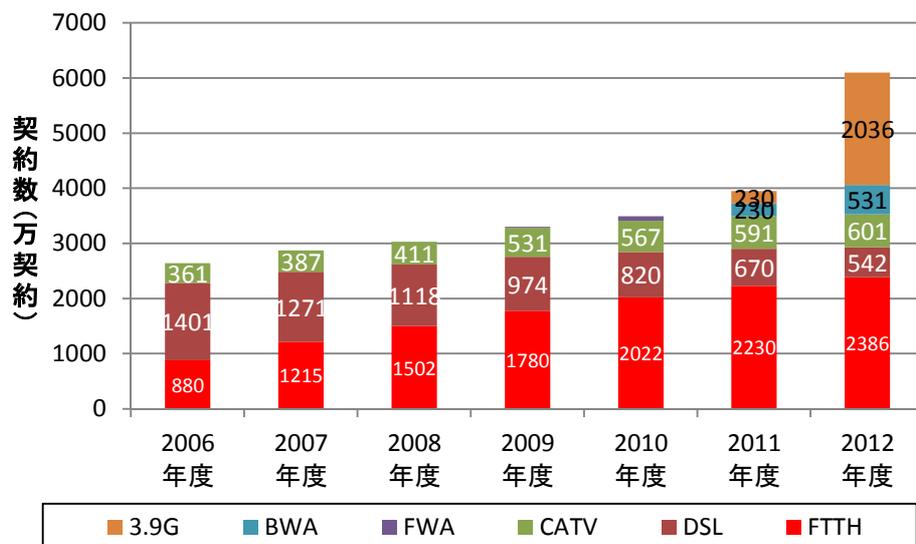


図 1-10：ブロードバンド契約数の推移
 引用元：総務省 情報通信白書 25年版
 「図表 4-5-2-4 ブロードバンド契約数の推移」

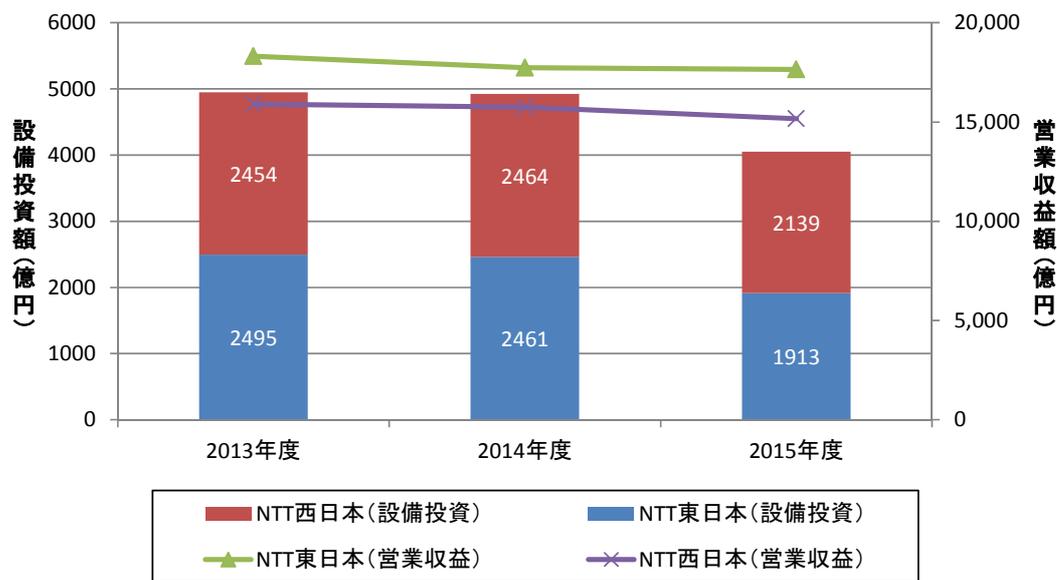


図 1-11：NTT 東西会社の設備投資，営業収益額への推移
 引用元：NTT の財務情報データ

URL; http://www.ntt.co.jp/news2015/1502jzvz/tydg150206a_21.html

1-4：先行研究調査からの本論文の到達点

アクセスネットワークの事業では、①設備投資→②設備管理→③設備選定→④開通後のQoS制御の4つの主要事業があり、図1-12のように各事業は1度実施して終わるわけではなく、④の開通が多くなれば新たな設備投資が必要となる。本論文では、各主要事業での要求条件から課題を明確化し、効率化に向けた解決手法を提案する。各主要事業の効率性を上げることで全体の効率性が上がり、結果として通信産業の活性化に繋がる。

4つの主要事業のうち、実現性のある研究がなされているのが設備管理事業である。サービスを迅速に開通していくため、通信局からユーザ宅の近傍の電柱までの設備は先行投資により敷設されている必要がある。そのため、通信会社は、大量の未使用設備（資産）を管理・運用しないといけない。先行研究として、LiらがIEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc)にて提唱した「Network management challenges for next generation networks」[5]では、公衆交換電話網（PSTN）や公衆データ網（PSDN）、公衆地上移動ネットワーク（PLMN）を次世代ネットワーク（NGN）に統合することを提唱している。世界の通信会社の設備管理事業は、ネットワーク管理を外部委託し、ネットワークの用途単位に効率的に管理させることに主軸を置いており、日本のように光ファイバ1心単位の管理方法までは議論されていない。日本の通信会社の設備管理は、多方面に敷設した光ファイバを通信局でまとめて管理するため、通信局ではユーザの利用開始・利用停止の工事が日々発生する。日本の設備管理への要求条件は、通信局内の光ファイバなどの登録・接続工事などを効率的に実施し、それに伴い設備構成の情報を効率的に更新することである。本論文では、実現されている技術のひとつとして通信局内にある配線架（CR：Cable Rack）、光ファイバなどに識別情報を貼付することで、効率化を検討した既存技術を紹介する[6]。

国内外問わずアクセスネットワークの設備投資事業は、余分な工事費用を削減するため、一度に多くの心数の光ファイバを敷設する。そのため、投資して完成したアクセスネットワークには、ユーザにサービス提供していない光ファイバが未稼働資産として多く存在する。未稼働資産は、収益を生まない資産となるため、企業にとってはリスク（以下、資産リスク）が高くなる。日本の大部分のアクセスネットワークを保持するNTT東西会社は、リスクが高く、収益性が悪い相互接続業務もあるため、同社の設備投資額は減少傾向にある。設備投資への要求条件は、資産リスクを排除しながら迅速に資金調達を可能とし、収益性が悪い業務があっても新たな設備投資を続けるスキームを確立することにある。設備投資の先行研究は、Katzがワーキングペーパーとして、通信産業の資産リスクがある中で、必要な投資に資金を供給することの必要性を提唱している[7]。Katzは、公的資金を使いリスクを軽減する資金調達モデルを提唱しているが、提案するモデルの実現性を具体的に示していない。また、前述の要求条件の解決手法の1つに資産のオフバランス化が挙げられる。先行例として、通信ネットワークのオフバランス化について、エンロン社が実施した

コアネットワークの商品化がある[8]。しかし、エンロン社は技術進化が早いコアネットワークを、未発達な市場でオフバランス化したため、大量の未稼働資産を保持してしまい倒産している。また、Schrijver が修士論文[9]として、ネットワークのオフバランス化についてプロジェクト・ファイナンス手法を通して解決することを提唱している。Schrijver は通信ネットワークを売却することで、企業価値の透明性を維持して、資金調達を可能とすることを示しているが、オフバランス化の実現性とオフバランス後の収益性や企業価値について具体的に示していない。本論文では、NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産に対して、証券化というオフバランス手法を取り入れることで、資産リスクを排除した新たな資金調達から新設備投資を行うスキームの実現性と、収益性、企業価値について検討する。

アクセスネットワークの設備選定事業では、設備投資にて敷設した設備を管理し、ユーザから利用申込みがあった場合、通信局からユーザ宅までのルートを選定する。世界の通信会社は、ネットワーク管理自体を外部委託しているため、設備選定とはコアネットワークの容量設計に基づいた選定方針の研究となる。d' Halluin が IEEE の学術誌[10]で、コアネットワーク内の各サービス価格に応じた選定方針（モデル）を提唱しているが、アクセスネットワークへの選定には議論が及んでいない。日本の設備選定への要求条件は、市場の拡充時期（拡大期、安定期）によって変わってくる。まず市場の拡大期では、ユーザの申込みが大量となるため、設備選定に掛ける処理量を最小にする必要がある。まず市場拡大期での先行研究としては、設備選定における開通業務の処理量を最適化する様々な研究がなされている。アクセスネットワークを個々の管理区分毎に分け、管理区分に対して最適な選定アルゴリズムを提供するアーキテクチャが研究されている[11][12]。しかし、これらの研究は 1 心の光ファイバを 1 人のユーザが占有する黎明期向けサービスに対するアルゴリズムを効率化したものであり、1 心の光ファイバを複数人のユーザが共有する拡大期向けサービスに対するアルゴリズムへの検討はなされていない。本論文では、市場拡大期に向けた処理量を最適化する選定アルゴリズムを提案する。次に市場安定期では、サービスが多様化されるため、設備選定への要求条件も多様化される。今までの接続点、距離などの物理情報を使った選定ではなく、帯域情報などの論理情報も加味した設備選定を実施する必要がある。市場安定期での先行研究としては、アクセスネットワークを設備管理区分ごとに分け、各管理区分の Operation Support System (OSS) で異なる設備管理区分への設備選定が実施されている。各 OSS での選定処理の進捗管理を、選定済／未選定などのステータス管理を具備したワークフローにて効率化する研究が行なわれている[13]。しかし、この研究はステータス管理によって設備管理区分間のワークフローを効率化したものであり、安定期に入って多様化されたサービスへの設備選定の検討はなされていない。本論文では、安定期に入り多様化されたサービスも踏まえた設備選定アルゴリズムを提案する。

最後はアクセスネットワークの開通後の QoS 制御事業である。1 心の光ファイバを複数人のユーザが共有するサービスの場合、通信会社は 1 つの通信装置に多くのユーザを収容し、かつ遠方のユーザを収容できる次期装置を開発することで、低廉なサービスを提供で

きる。次期装置を使った開通後の QoS 制御への要求条件は、ユーザの QoS を図る品質指標である「帯域利用効率」と「遅延時間」の更なる向上が必要である。先行研究として P. McGarry が IEEE にて「A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms」[14]にて、サービス規約に定まった確保帯域量でサービスの品質を維持するアルゴリズムを提唱されている。しかし、通信サービスには帯域を確保しないサービスもあるため、両サービスの品質を維持する観点では検討されていない。また、帯域利用効率と遅延時間が著しく低下しないように効率的な帯域割当を行う技術[15][16]や、高優先データを送付することで高優先データの遅延時間を最小化する技術[17]、データ送付回数を 2 回に分けて送信することで帯域利用効率を向上する技術[18]が検討されてきた。しかし、これらの研究は、次期装置でのユーザ収容数の増加やユーザまでの距離が延びたことによる帯域利用効率及び遅延時間の劣化については検討されていない。本論文では、次期装置導入でユーザ収容数の増加やユーザまでの距離が延びた場合でも、サービス品質を最適に制御するアルゴリズムを提案する。

以上のように、アクセスネットワークの事業には、設備投資によって敷設した設備を管理し、ユーザからの申込みに対して設備選定を行い、開通後のユーザへの QoS を制御する主要事業が 4 つ存在する。本論文では、アクセスネットワークにおける 3 つの主要事業が抱える課題について検討し、個々の要求条件にあった提案技術から効率化を実証する。設備管理については既存論文[6]を 2 章で紹介する。3 章では、日本国内の通信産業への課題・方向性を踏まえた上で、アクセスネットワークを証券化する設備投資の妥当性を説明する。また、設備選定、開通後の QoS 制御については 4 章、5 章で個々に効率性について説明する。

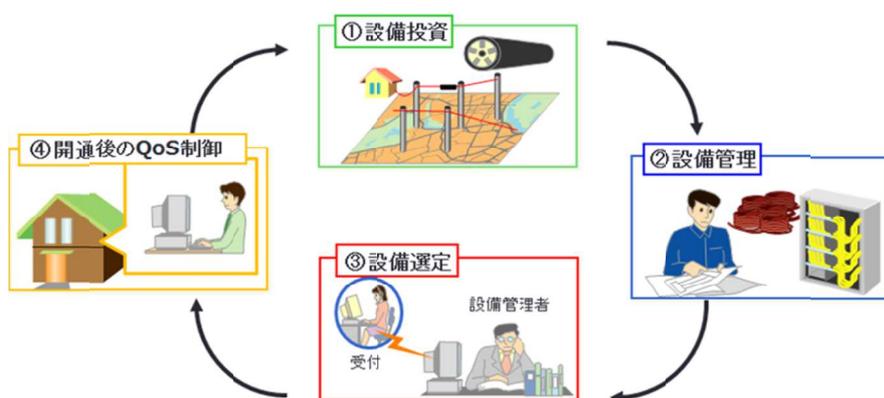


図 1-12 : アクセスネットワークの主要事業のサイクルイメージ

2 章：設備管理に関する先行研究

2-1：序文

通信産業を支える設備として、近年インターネットの普及により、ネットワークの高速・広帯域化が求められているが、アクセスネットワークにおいても FTTH (Fiber To The Home) の構築に向けて光ファイバ基盤の整備が進められている。

設備管理においては、設備データ管理を効率的に管理することが重要である。通信局内の設備（以下、所内光媒体）の管理は、多くの場合、現場作業者が設備を増設・撤去する工事（以下、建設工事）のときや設備を選定して利用・利用停止する工事（以下、サービスオーダー工事）のとき、あるいは故障修理のときに紙、もしくは電子ファイルに入力する方法で行われていた。しかし、作業後に現場作業者が工事データを手入力するため、時間を浪費するばかりでなく、データの正確性も問われていた。このような所内光媒体の設備管理は、効率的な通信産業の発展に影響を与えることも懸念されていた。これらの問題を解決するため、本章では所内光媒体自体の性質と設備管理に求められていた条件を整理し、所内光媒体の設備管理をする際の適用技術などを[6]を中心に[19]-[25]をもとに紹介する。

2-2：所内光媒体の管理の課題

通信局の媒体としては、メタル線と光ファイバとがある。メタル線は電話サービスの提供のため数十年にわたって配線、撤去などが繰り返され、その運用方法は確立されてきた。メタル線の構成をし、文献[6]記載の図 2-1 に示す。メタル線の場合は、MDF (Main Distribution Frame；そのビルで電話サービスを提供する全ユーザのメタル線を収容する主配線パネル)には二つのパネルがあり、一方のパネル端子 (MDF-Vside)は伝送装置 (TS: Transmission systems)の端子順に配列され、他方のパネル端子 (MDF-Hside)は通信局外のメタル線をまとめたケーブルの心線順に配列されている。このような構成であること、及びメタル線は容易に切断、任意の長さで接続できるという性質から、電話サービス提供時には伝送装置側と所外ケーブル側の端子が特定されると、現場作業者は必要な長さに切断したメタル線で端子間を接続していた。したがって、メタル線自体を管理しなくても、伝送装置やケーブルの情報から所内メタル線を特定でき、運用上の不都合もなかった。

一方で光ファイバに関しては、現状の所内光媒体のジャンパリング構成を図 2-2 に示す。通信局外 (所外)の光ケーブルは配線架 (CR: Cable Rack)に成端 (ケーブルを止め、心線を収納または接続すること)される。装置 (OLT: Optical Line Terminal)内部の OSU (Optical Subscriber Unit: 端子)と CR との間は、PON (Passive Optical Network) システムの場合には所内スプリッタ (所内 SP: Splitter)と光ファイバが配線され、SS (Single Star) システムの場合には光ファイバのみが配線される。従来は 10 万対以上の心線があるメタル線の構成に対して、光ファイバは数百心程度と少なかったことと、接続点を少なくし損失低減を図りたい光通信の性質のため、装置側のパネルがない構成となっている。このため、図 2-1 のメタル線の構成ならば端子管理をパネル (MDF-Vside)の端子管理によって、効率的な設備管理が実現できていたが、パネルのない文献[6]記載の図 2-2 の構成では効率的に設備管理が実現できないという欠点がある。更に、光ファイバの場合は容易に切断、接続ができない性質から、事前に十分に長い光ファイバによる配線を装置と CR との間に施し、サービス提供時のために準備しておく必要がある。空きの光ファイバ (未使用の光ファイバ)を事前に配線しておくことから、管理対象が増えることとなる。更に、空きの光ファイバは端子と接続されない状態で保留されているため、伝送装置側のどの光ファイバ端子が所外光ファイバ側のどの光ファイバ端子とつながっているのかの管理方法や対照方法の確立が重要な課題であった。

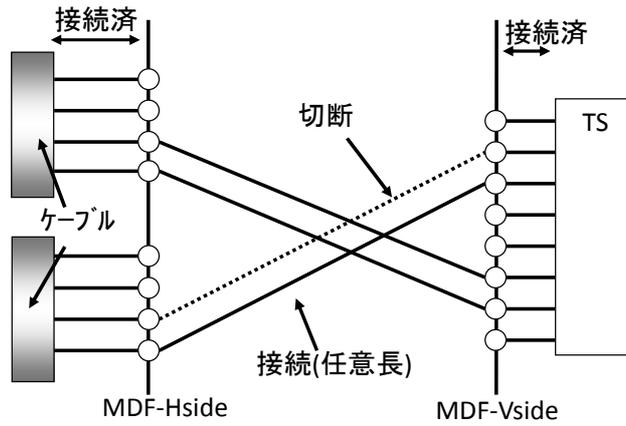


図 2-1 : メタル線の構成と運用方法

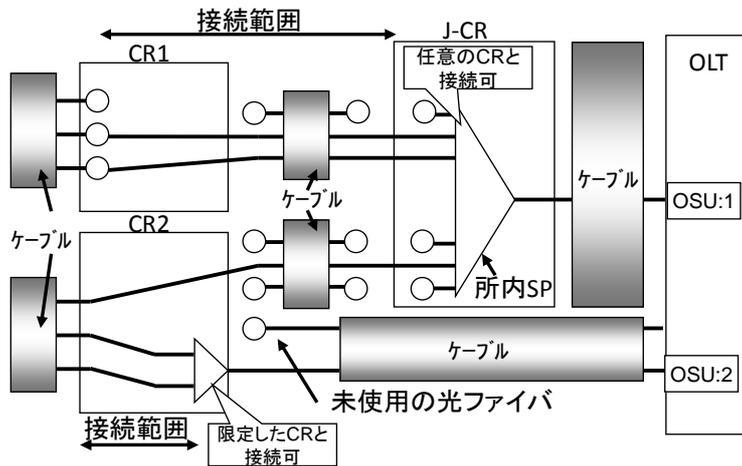


図 2-2 : 光ファイバの構成と運用方法

2-3：所内光媒体の設備管理方法

所内光媒体として管理する対象には、光ファイバ心線だけでなく、所内 SP やそれらを収容する CR などがあり、過去には、業務発生時に現場で作業者が人手によって所内光媒体の管理を行っていた。また、文献[6]記載の図 2-3 のような各設備情報に対して、工事完了した後に、膨大なデータをもとに図面へ記入、あるいはデータベース（以下、DB）に手入力するため、データの投入ミス、二重投入、未投入などの問題があった。このような所内光媒体の運用・管理の問題は、

(I) 光ファイバを事前に配線しておく必要があり、管理対象が複雑かつ膨大

(II) 管理対象が受動的な構成部品であるため、正確な DB 構築が困難

なことに起因する。これまで、CR や所内 SP のような所内光媒体を制御する設備管理技術が報告されている[19][20]。しかし、正確な DB が構築されていることを前提とした提案であり、現実の最大の問題である実設備と整合のとれた DB を構築する有効な手法を提案するには至っていなかった。この問題を解決する有効な運用・管理手法を実現するために、設備管理と心線選定機能を有する所内光媒体運用・管理システム構築の検討[21][22][23][24][25]が進められていた。複雑かつ膨大な光ファイバ配線の実設備と DB との整合性を確保する要求条件は、

(1) 設計結果をすぐに現場作業者に伝えられる。

(2) 設計どおりに光ファイバなどの構成部品を取付け、または接続・開放していることを工事内の作業と一体化させて確認できる。

(3) 工事結果の DB 登録を工事内の作業と一体化させる。

ことである。これらの要求条件を満足させることで、設備の設計から工事、DB 構築に至る業務を総合的に管理し、一連の業務としたフローを実現することができ、作業ミスや二重登録などを防ぐことも期待できる。業務を総合的に管理し、電気処理が不可能な光ファイバなどの受動的な構成物品の情報がスムーズに流れる業務フローを実現するためには、まず構成情報の電子化が大きなポイントとなる。文献[6]記載の図 2-4 に所内光媒体運用・管理システムによる運用実績例を示す。この 2 次元バーコードのデータでは 30 けたを超える数値データを格納でき、物品情報だけでなく製造会社や製造年月日の情報も管理するため、どの心線や部品についてもデータのユニーク性が維持できる。このようなバーコードによる識別技術が提案され、その効果が計算によって検証されたので、現在は実用化されている（効果検証例は 2-4 に示す）。また、この 2 次元バーコードは長期間の使用にも耐えうるよう、15%程度の破損があった場合でもデータの読取りが可能となっている。物品識別技術は 2 次元バーコード、作業支援携帯端末（HHC：Hand Held Computer）、IDM-WS（Integrate Distribution Module-WorkStation）などから構成され、業務の流れによって所内光媒体情報の電子化を実現する。ここで、HHC はノートパソコンと 2 次元バーコードリーダーの組合せで構成されており、光心線や光ケーブル、各光学部品に工場出荷時にあら

かじめ張り付けられた2次元バーコードのデータを読み取り、そのデータをIDM-WSへ転送するものである。IDM-WSは、HHCが収集した情報を管理し、所内光媒体DBを構築するなどHHCと協調して各種作業支援を実現する。また、HHCはIDM-WSからの作業指示をもとに、現場作業者に対して各種作業のフローを示し、接続対象心線・対象コネクタの対照も行う。この対照機能は最重要機能の一つである。特に心線どうしの接続を開放する場合に、誤ってサービスを提供している心線を開放するといった事故の防止を図ることができる。

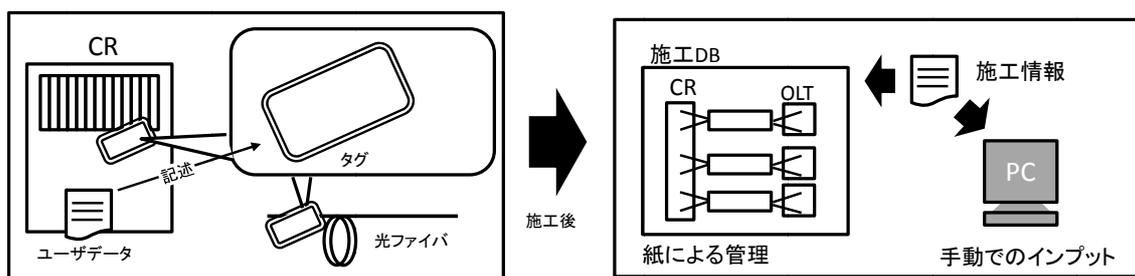


図 2-3：所内光媒体の運用・管理方法

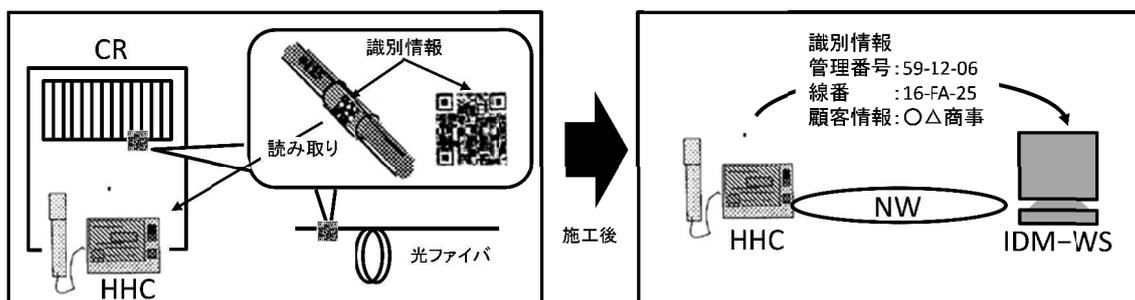


図 2-4：所内光媒体運用・管理システムによる運用例

2-4 : 所内光媒体の設備管理手法の効果検証例

前節で述べたような 2 次元バーコードを用いた方法により，実設備と DB との整合が図れる．ここでは，光カプラなどの CR の構成品の取付作業（設備登録作業）及び光ファイバの接続開放作業（接続登録作業）に対する効果の検証例を紹介する[6]．データ登録作業効率化の定量的評価では，データの登録時間は従来の手入力の場合（T1）とバーコードを利用した場合(T2) に分け，以下のように表現できる．

$$T1 = \alpha \times k1 \quad (1)$$

$$T2 = \alpha \times k2 + \beta \times B \quad (2)$$

ここでの検証例[6]では，実測からパラメータを決めて比較している．設備登録作業と接続登録作業を手入力で登録した時間（T1）は，1 データ当りの手入力での登録時間（ α ）と手入力での登録項目数（ $k1$ ）で算出できる．対して，設備登録作業と接続登録作業をバーコードで登録した時間（T2）は，1 データ当りの手入力での登録時間（ α ）とバーコード方式でも残っている手入力の登録項目数（ $k2$ ）と，1 データ当りのバーコード入力での登録時間（ β ）とバーコードでのデータ読取り回数（ B ）の和で算出できる．設備登録作業と接続登録作業の手入力方式（既存手法）での設備登録時間（T1）・接続登録時間（T1）を 100 とした時と，設備登録作業と接続登録作業のバーコード方式（提案手法）での設備登録時間（T2）・接続登録時間（T2）を比較した結果を文献[6]記載の図 2-5 に示す．設備登録作業では，(a) に示すように既存の設備登録時間（T1）を 100 とすると設備登録時間（T2）は 56%の効率化が図れる．接続登録作業では，(b) に示すように既存の接続登録時間（T1）を 100 とすると接続登録時間（T2）は 34%の効率化が図れる．従って，従来の手作業によるデータ登録に比べ 1/3～2/3 の効率化が見込めることを明らかにした．

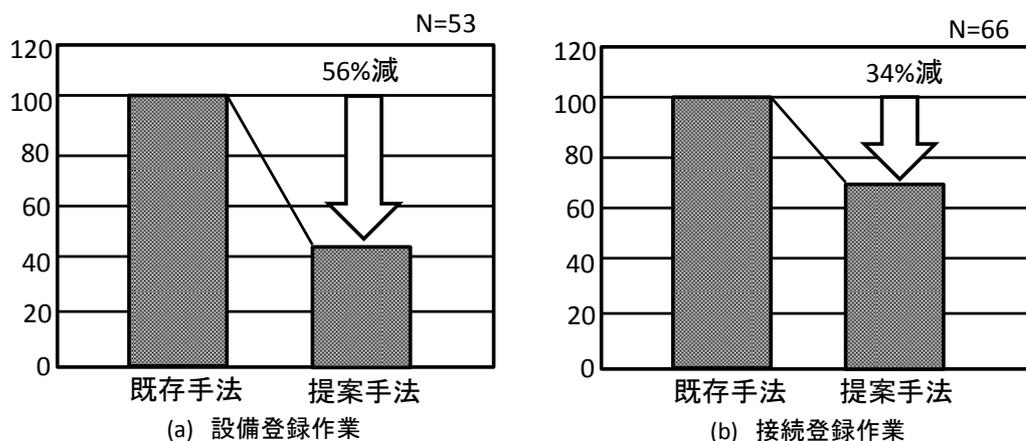


図 2-5 : 設備管理オペレーション比較

2-5：設備管理への考察

アクセスネットワークにおける設備管理では、複数のエリアから通信局に集約された大量の使用済・未使用の光ファイバを効率的に管理することが必須である。更には、ユーザからの利用申し込みが発生した場合、迅速に次工程である設備選定に必要なデータを間違いなく確保することも必須である。本章では、所内光媒体自体の性質と運用・管理に求められる条件と従来技術での問題点を整理し、2次元バーコードによる識別技術による一連の運用・管理手法を紹介した。本手法にて通信会社では、識別技術による管理時間の短縮とデータ登録することでの誤登録を削減し、次工程である設備選定の正確性も促進している。2次元バーコードはリーダーで読み込むことで初めて内容確認が可能となるため、視認性の課題も残るが、本手法を用いることによって設備管理の事業の効率化は可能であることがいえ、実用化に至っている。

3章：設備投資への研究

3-1：序文

通信産業での設備投資事業は、投資から工事を実施する回数が増えると間接費が増えるため、今後の需要数を予測して1回の工事で数千心から数百心の光ファイバを敷設する。その結果、大規模な設備投資を実施することになり、投資から工事完了時点では収益を生まない未稼働資産が大量に残る。未稼働資産を通信会社が大量に持つことは、大きなリスク（以下、資産リスク）となるため、通信産業の設備投資＝資産リスクという関係となる。総務省は、通信産業特有の資産リスクで市場参入の障害にならないように、通信会社（他事業者とNTT東西会社）間の相互接続業務を法律で課している。その結果、他事業者の市場参入は年々増加している。そのため、元々日本のアクセスネットワークの大部分を保持していたNTT東西会社のアクセスネットワークシェアも依然として85%と高い。しかし、他事業者がNTT東西会社へ支払う相互接続料は、ユーザが使えば使うほど低価格になる計算方法であるため、年々低価格となっている。そうした状況から、NTT東西会社の設備投資効率は低く、資金調達が困難な状態で同社の設備投資額も年々低下している。そのため、日本のアクセスネットワークの発展に支障が出る可能性も考えられる。よって、依然として日本のアクセスネットワークの大部分を保持しているNTT東西会社の設備投資を効率化する必要がある。

本章では、資産リスクを排除し、新たな設備投資に向けた資金調達を得るために、NTT東西会社のアクセスネットワーク資産を証券化し、そこから得るキャッシュフローで、次の設備投資を実施するスキームを提案する。最終的に、NTT東西会社のアクセスネットワークの設備投資事業は、提案する証券化スキームを使用することで、企業価値が上がり、日本のアクセスネットワークへの設備投資事業の効率化が可能となる事を検証する。

3-2：アクセスネットワークへの設備投資の課題と対策

通信産業での設備投資事業の要求条件は2つある。1つは資産リスクの排除であり、通信会社が未稼働資産として「資産リスク」を抱えないスキームが必要である。次に、収益性の低い他事業者との相互接続業務がある中で、新たな「資金調達」方法である。上記2つの要求条件を踏まえた解決手法として、資産のオフバランス化がある。資産のオフバランス化とは、通信ネットワークという資産の所有者を通信会社Aから会社Bへ売却することになるため、通信会社Aの資産リスクは排除される。また、資産を売却する時に売却益を得ることが可能なため、新たな設備投資のための資金調達が可能である。オフバランス化の要求条件は、1章で紹介したエンロン社の失敗から「資産の陳腐化」と「市場の発達」の2つの要求条件を踏まえた検討が必要である[8]。エンロン社は、技術進歩が速いコアネットワーク資産をオフバランス化することで資産価値が落ちた経緯がある。また、未成熟なオフバランス化市場から、法・制度的にルールもなく、結果的に粉飾決算を実施して倒産した経緯がある。

以上4つの要求条件（「資産リスク排除」「資金調達」「資産の陳腐化」「市場の発達」）に対して、オフバランス化の手法（「①資産の売却」「②資産の売却&リースバック」「③資産の商品化」「④資産の証券化」[26]）の適用性について検討する（表3-1）。

① 資産売却

通信会社が、自社のアクセスネットワーク資産を他社へ売却する手法である。通信会社は、売却した資産をバランスシートから切り出すことで資産リスクが排除され、売却益から資金調達が可能である。またアクセスネットワークは、コアネットワークと比べて市販技術を使っているため、資産の陳腐化が遅くなる。よって、要求条件の「資産リスク排除」「資金調達」「資産の陳腐化」は達成可能である。しかし、アクセスネットワークという資産を売却する市場自体は未発達であり、売却時の価格を決める方法がない。結果的に、要求されるオフバランス化の手法には適さない。

② 売却&リースバック

通信会社がアクセスネットワーク資産一旦売却するが、売却後の資産をリースバックする手法である。資産売却同様、「資産リスク排除」「資金調達」「資産の陳腐化」は達成される。しかし、アクセスネットワークという資産を売却して、リースバックする市場自体は未発達であり、売却やリースバック時の価格を決める方法がない。結果的に、要求されるオフバランス化の手法には適さない。

③ 商品化

1章で述べたエンロン社が扱ったコアネットワークの商品化ではなく、アクセスネットワーク資産を商品化する手法である。資産売却同様、「資産リスク排除」「資金調達」「資産の陳腐化」は達成される。しかし、商品化の場合、対象資産を購入する通信会社

が必要である。結果として、通信会社から資産リスクを別の通信会社へ移すだけになるため、通信産業全体の効率化の目的に合わない。また、商品化の市場自体は未発達であり、要求されるオフバランス化の手法には適さない。

④ 証券化

通信会社が、自社のアクセスネットワーク資産を一旦売却し、売却した企業が対象資産の管理運営を実施する企業へ運営依頼を実施し、対象資産からのキャッシュフローを基に投資家に融資を募る手法である。この場合、通信会社は資産を売却企業へ売却し、売却された資産の管理運営を別会社で実施することになる。そのため、通信会社から資産リスクは排除され、陳腐化の懸念がない資産で新たな資金調達が可能となる。更には、証券化の市場自体は、不動産の証券化のように長い年月をかけて熟成された市場である。よって、資産を証券化することで、資産リスクの排除、資金調達が可能であり、アクセスネットワークという資産の陳腐化が遅く、他の資産で市場形成が成されている点から、要求されるオフバランス化の手法に適している。

以上の検討から、アクセスネットワークを保持する通信会社へ導入する資産のオフバランス化手法として、資産の証券化が最も適しているといえる。次節から、証券化スキームのモデル、証券化の効果を検討する。証券化の効果は、収益性、企業価値向上の2つの観点で検討する。1つ目は収益性による評価である。証券化の評価方法は、過去の収益率をもとに期待収益による評価が一般的であるがアクセスネットワーク資産自体の証券化が初となるため、収益率を求めることが困難である。そのため、今回は証券の内部収益率と発生確率を基に、他の金融商品と比較する。また2つ目の企業価値向上による評価では、証券化前後の企業の投資効率(ROI: Return On Investment)及び自己資本利益率(ROE: Return On Equity)で検討する。証券化により新たな資金調達が可能となり企業の投資効率(ROI)が向上することを評価する。また、証券化により資産売却から企業の財務体質の根幹である自己資本利益率(ROE)が向上することを評価する。

表 3-1 : オフバランス化の比較

	資産リスク排除	資金調達	資産の陳腐化	市場の発達
①資産売却	○	○	○	×
②売却&リースバック	○	○	○	×
③商品化	○	○	○	×
④証券化	○	○	○	△

3-3：アクセスネットワークへの証券化スキームのモデル検討

3-3-1：証券化スキームの提案

一般的な証券化スキームとしては、下記に述べるようなものが挙げられる（図 3-2）。証券化対象資産である資産は、オリジネータ（資産の原保有者：NTT 東西会社等）の影響を受けない SPV（Special Purpose Vehicle：特別目的会社）へ売却される。この売却は、アレンジャー①（投資銀行・弁護士等が一般的）からのストラクチャーの組立て・提案を基に実現される。次に SPV は、資産受託管理者に対して運用業務委託として資産の運用を依頼し、サービサーに対して債券回収業務委託として資産売却によって債券回収を依頼する。更に SPV は、アレンジャー②（投資銀行・証券会社）との連携で、オリジネータから買い取った資産を証券として発行する。発行された証券は、アレンジャー③（信用補完機関・格付け機関）によって信用補完および証券（資産）自体の格付けが実施され、投資家にとって投資判断に必要な情報の補完を行なう。最終的に投資家は、魅力ある証券があれば証券購入となり、購入した証券に収益があればサービサーによって得られた CF（CashFlow：キャッシュフロー）を収益として SPV を経由して投資家へ行なわれる流れとなる。

しかし、上記の一般的な証券化スキームを NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産へ適用するには課題がある。アクセスネットワーク資産の証券化は、世界にも例がない初めてスキームとなるため、証券自体のリスクが高くなり、投資家にとって魅力的ではない。このような課題への解決手法は、公的 MBS（My Best Support）がある（図 3-3）。公的 MBS の長所は、政府保証による投資家の保護が可能となり、市場の活性化に繋がりやすい点である。しかし、同時に短所も 2 つ存在する。1 つ目は情報開示である。アクセスネットワークの敷設エリアによってはハイリスク（例：再開発検討エリア）の証券もあるため、オリジネータの設備投資の前に、アレンジャー①へ第三者機関による市場調査結果の提示が必要である。2 つ目は、インフラとしての公共性の確保である。収益性を追求した資産取得は、人口密度の高い市街地ばかりとなり著しく公共性が失われる。アクセスネットワークのようなインフラ資産は、政府方針から収益性より公共性を優先する資産取得（例：山奥の地域へのインフラ整備等）もある。このように、アクセスネットワークのようなインフラの側面もある資産の場合、市場性と政府方針による兼ね合いが必要である。

そこで、本論文で提案する証券化スキームを提示する（図 3-4）。提案するスキームは、通信会社による市場調査から資産のリスクを公開することと、政府方針の確認から資産の公共性を確保することを追加している。この 2 つの手順から、アクセスネットワーク資産を証券化する際、SPV・アレンジャー・投資家へ公開する情報が多くなる。過度にハイリスクであればアレンジャー③（信用補完機関・格付け機関）によって信用補完不可となり政府による債権保証が受けられない。政府方針により公共性を優先した証券であれば、国債のように公的債券保証は受けられるが市場性が低いため、収益分配が少なくなる。

ここで政府保証による債権保証への議論は、証券化業界においても活発な議論があった。

建設業界においては、その建設コストを証券化し、公的 MBS のように政府保証の証券とする事で安定的な建設工事を実現するようになっていく必要がある事を議論している[27]. 更には、国会衆議院においても、公的 MBS の位置づけについて議論され、国の住宅政策において米国を模倣すべきだという議論が実施されている[28]. 米国での公的 MBS の効用としては、政府による保証と流通市場のマーケットメイクという証券化スキームを作り出したことといえる[28]. ここで、大切な事として「政府保証」は企業の国有化とは違い、あくまで政府は信用を供与するか、もしくは証券化を媒介するだけで、その資金自体は資本市場から直接調達するしくみが確立された点にある. このように、提案する証券化スキームは、資産自体の信用を補填するという仕組みを国の保証において実行する流れ[29]を確立した点にある.

以上の検討から、証券化における一般論、公的 MBS、提案手法の比較し、アクセスネットワーク資産の証券化スキームを推進するためには、市場・政府方針を加味する提案手法が効率的であるといえる.

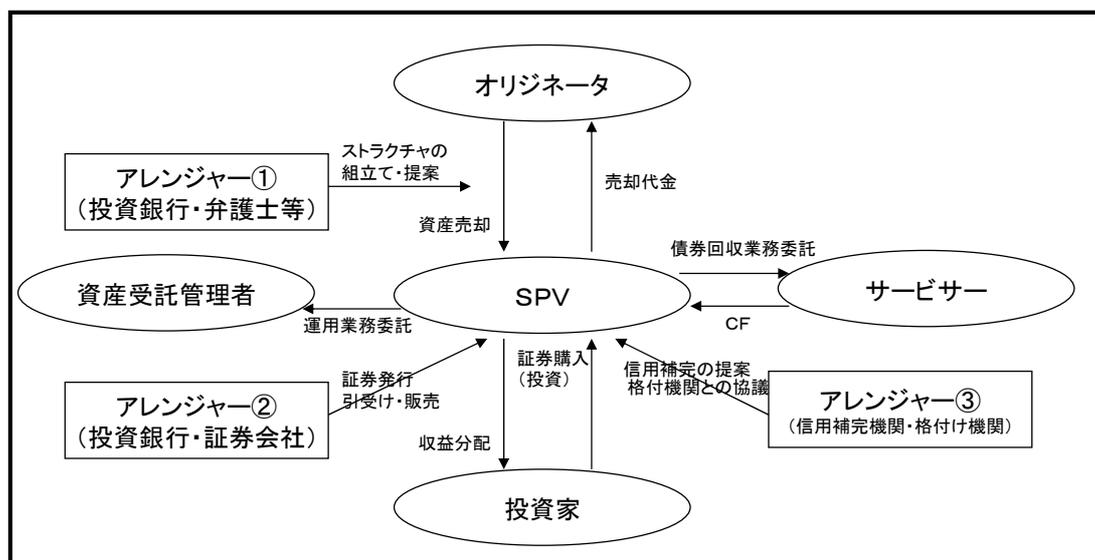


図 3-2 : 証券化スキーム図 (一般論)

引用元 : 井出保夫「証券化のしくみ」

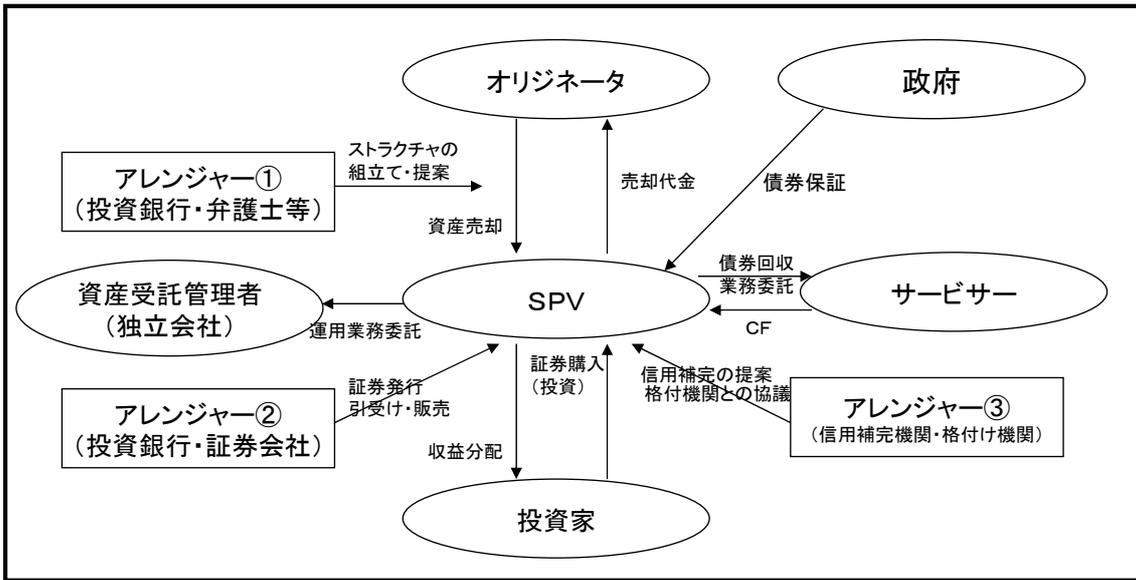


図 3-3 : 公的 MBS スキーム図 (一般論)
引用元 : 井出保夫「証券化のしくみ」

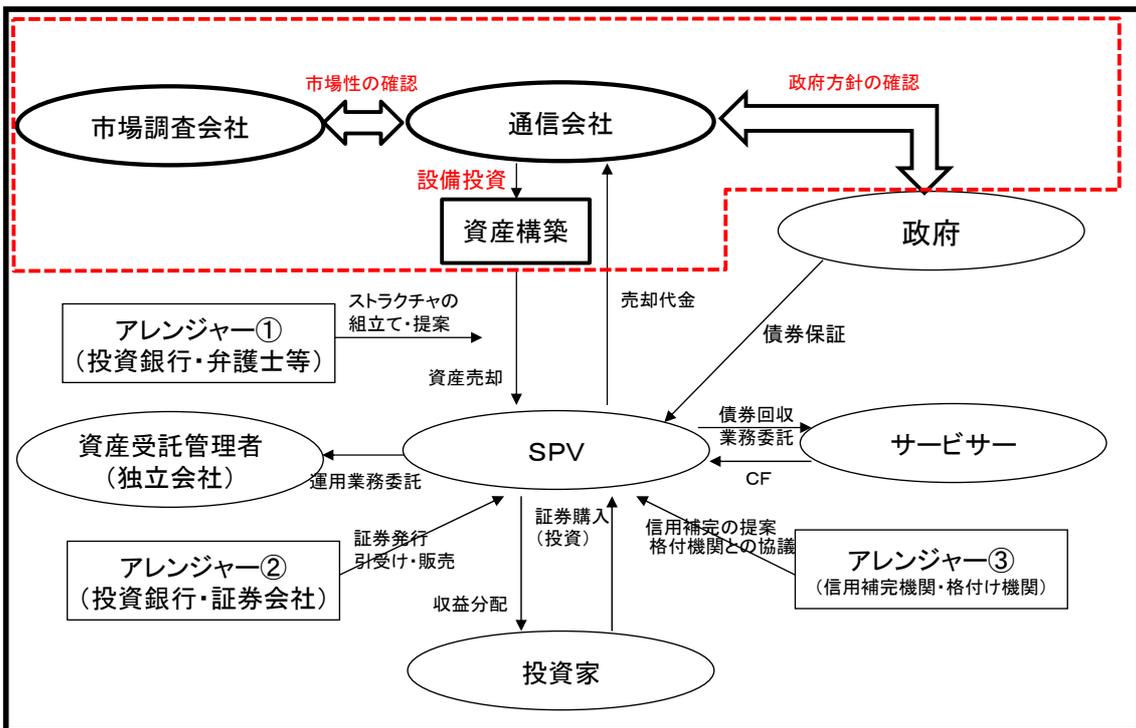


図 3-4 : 提案する証券化スキーム図

3-3-2：証券化スキームの実現性の検討

前節で提案したアクセスネットワーク資産の証券スキームを実現するためには、以下の3つの観点で実現性の検討が必要である。1つはアーキテクチャ（機能的構造）としての実現性である。2つ目は、リーガルエンジニアリング（法・制度的要素）としての実現性である。最後に、信用リスクマネジメント（リスクコントロール）としての実現性である。本節では、以上の実現性を個々に検討する。

3-3-2-1：機能的構造からの検討

提案する証券化スキームの機能的構造は、2つの検討観点がある。1つ目は、オリジネータからアクセスネットワーク資産を切り離すことである。2つ目は、対象資産を証券化し、運用が開始された後の運用定着である。

アクセスネットワーク資産の切り離しは、NTT 東西会社と他事業者との相互接続業務から可能といえる。現状 NTT 東西会社は、他事業者からの相互接続要望に対して、迅速に対処するためのオペレーション・設備管理・窓口対応を十数年の間に確立している。NTT 東西会社から資産受託管理者を切り離し、資産受託管理会社としたイメージを図 3-5 に示す。そもそも NTT 東西会社は、他事業者に対して相互接続オペレーション（手続き）を実施して、随時接続を行っていた。そのため、既に自社内で他事業者と相互接続するオペレーションは、完備されていると判断して問題無い。よって、1つ目の NTT 東西会社からアクセスネットワークを切り離すことは、機能的に可能といえる。

アクセスネットワーク証券の運用定着は、上記同様に NTT 東西会社と他事業者との相互接続業務から可能といえる。NTT 東西会社から資産受託管理者を切り離した後の収益構造を図 3-6 に示す。証券化実施前の収益構造は、NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産を利用してサービスを提供し、利用料金をサービス提供会社へ収益として払い込まれる。NTT 東西会社から資産受託管理者を独立させた場合、NTT 東西会社も「いち他事業者」となり、全ての通信会社が相互接続料を資産受託管理者へ払う必要が発生する。この相互接続料が、資産受託管理者にとっての収益となり、運用において発生した費用を差し引いたキャッシュフロー（CF）がサービサーに払い込まれる。最終的な CF は、SPV を経由して収益分配として投資家へ払い込まれる。よって、NTT 東西会社から資産受託管理者を切り離すことで、収益構造はよりシンプルになるといえる。しかし、前述した「将来原価方式」は、通信産業が活性化して通信量が増えるほど相互接続料が減り、資産受託管理者にとっての収益が減少する課題は残る。しかし総務省では、最近のブロードバンドトラフィックの増加傾向[30]から、これ以上の相互接続料を下げるのは限界との議論[31]もある。更には、相互接続料を下げる議論の本質は、NTT 東西会社と他事業者との公平性の担保である。今回、NTT 東西会社がアクセスネットワーク資産を売却すれば、NTT 東西会社も「いち他事業者」となるため、通信産業内の公平性を担保される。以上 2 点の考察から、これ以上の

相互接続料の値下げはないといえる。

以上 2 つの検討から、NTT 東西会社から資産受託管理者を切り離すことで収益構造は、より公平でシンプルとなり、アクセスネットワーク証券の運用定着が可能である点から、アーキテクチャ（機能的構造）としての実現性は高いといえる。

3-3-2-2：法・制度的要素からの検討

リーガルエンジニアリング（法・制度的要素）の実現性として、提案する証券化スキームに対して、既存の法・制度での適用性について検証を行う。現在、国内においてアクセスネットワークの証券化を実施する際に検討すべき法制度は、下記に記載する 6 種類が存在する。①投資信託法、②証券取引法、③消費者契約法、④金融商品販売法、⑤NTT 法、⑥電気通信事業法。それぞれの法・制度において実現性を検討する。

① 投資信託法

本法律は、平成 12 年 1 月 30 日に大幅な改正が成された。改正による最大の目的は、今まで投資信託の対象であった株式や債券など「証券」に投資するファンドから、証券以外の投資対象にも投資できるようにしたことにある。その代表的な投資対象が「不動産」であるが、改正投資信託法にある投資信託とは、投信法第 2 条 1 項にて「主として有価証券、不動産その他の資産で投資を容易にする（中略）投資運用することを目的とする」[32]とあることにより、通信設備もまた該当する事が読み取れる。

② 証券取引法

証券取引法とは、経済の適切な運営及び投資家保護のため、有価証券の発行・売買などの公正流通を図ることを目的とする法律である。証券取引法 2 条 8 項に有価証券の定義として「資産の流動化に関する法律に規定する優先出資証券」[33]とあり、内閣総理大臣によって登録を受けた株式会社（証券会社）によって発行する優先出資証券（有価証券）に定義されている。証券取引法が適用される有価証券である必要があり、目論見書・有価証券届出書・有価証券報告書などの作成、提出が義務付けられている。これら所定の手続きを完了したものが、最終的な証券として市場に出回るようになるが、通信設備の場合においても同様の手続きを踏む事で証券を発行する事は可能と読み取れる。

③ 消費者契約法

消費者契約法とは、商品・サービスに対して売り手・買い手の情報の非対称性が増したことで契約トラブルが多くなった事から、個別の商品・サービスごとに法規制するのではなく、消費者・事業者間を一般的に規制するために制定された法律である。消費者契約法 3 条にあるように「事業者（売り手）は、消費者（買い手）の理解を深めるために、必要な情報を提供するよう努めなければならない」[34]とあることから、消費者（この場合、SPV・アレンジャー・投資家）が正しく理解するため、必要情報の公開を法的に定めている。しかし、提案する証券化スキーム（図 3-5）では、第三者機関による市場調査結果を公開することで可能な限りの情報の非対称性を排除している。以上から、

消費者契約法において売買契約による情報の非対称性が発生しないスキームは、完備されているといえる。

④ 金融商品販売法

金融商品販売法とは、金融商品の価値とリスクを考慮して説明内容を定めた法律である。顧客（投資家）は、重要事項の説明を実施しなかったこと、または説明が不十分だったことが立証されれば、因果関係の立証責任が転換され、販売業者が立証責任を負う。具体的には、金融商品販売法第9条にあるように「内閣総理大臣は、販売業者が書類に記載すべき重要な事項の記載が不十分であると認めるときは、販売業者に対し、訂正届出書の提出を命ずる」[35]とある。資産の証券化に限らず、広く一般的な金融商品に当てはまる事であり、投資家に対して情報の非対称性がないように配慮する必要が生じる。これも上記③同様に、提案する証券化スキームは完備されているといえる。

⑤ NTT法

NTT法とは、国内の最大規模の通信会社となっているNTTに公正かつ円滑な電気通信事業を営む事を目的として制定された法律である。以前のNTT法における第2条の規定では、通信会社であるNTT東西会社の業務範囲は、通信業務に限定されており、経営資源（人・モノ・金・情報）を通信業務以外に適用する事は認められていなかった。しかし、平成13年6月に改正されたNTT法2条5項では「電気通信業の円滑な遂行に支障を及ぼす恐れがないと認められる場合、電気通信事業の公正な競争の確保に支障を及ぼす恐れがないと認められる場合に限り、総務大臣の認可を受けて同社の保有する設備、技術又は職員を活用して行なう電気通信業務（以下活用業務）を営む事が可能」となった[36]。昨今の産業競争力会議でのNTT東西会社の構造分離（民営：小売り・国営：卸）では、NTT東西会社からアクセスネットワークの管理組織を切り離す議論[37]がある。よって、NTT東西会社のアクセスネットワークを証券化することは可能と読み取れる。

⑥ 電気通信事業法

電気通信事業法とは、電気通信事業の公共性に鑑み、その運営を適正かつ合理的なものとする事により、電気通信役務の円滑な提供を確保するとともに、その利用者の利益を保護するための法律である。現在、電気通信事業法は、電気通信設備を証券化（金融商品化）する事を規制する法律は記載されていない。しかし、電気通信事業者の回線調達方法を制約する規制がある。これは、自前で電気通信設備を保有しない会社（二種事業者）は、自前で設備を敷設している会社（一種事業者）の設備を使って事業を営む際には、参入規制・退出規制・業務（料金・約款）規制といった規制が存在する。そのため、通信設備を通信会社からオフバランス化し、その設備（資産）を管理運用する資産受託管理者等の会社を二種事業者であるという判定が下された場合は、その業務内容に大きな規制がしかれる事が危惧される。しかし、NTT東西会社の構造分離（民営：小売り・国営：卸）の議論[37]を顧みると、国の方向性としては大きく外れていないため、

規制緩和が期待できる。

以上から、NTT 東西会社のアクセスネットワークを証券化する際には、電気通信事業法における法的規制緩和を前提である事が分かった。しかし、本規制緩和については、今後緩和される方向で議論がなされているため、規制緩和が実現する可能性も高いと思われる。よって、本検討において、電気通信事業法の法的規制緩和を前提として、提案する証券化スキームはリーガルエンジニアリング（法・制度的要素）としての実現性が高いといえる。

3-3-2-3：信用リスクマネジメントからの検討

信用リスクマネジメント（リスクコントロール）の実現性として、証券化時における信用リスクの客観化に必要な技術は大別して4つ存在する[38]。本節では、それぞれの技術についての定義を与えた上で、アクセスネットワークの証券化時の適用可否を検討する。

技術①：倒産隔離

アクセスネットワークのような資産流動化型の証券化は、資金調達者（オリジネータ）の信用力ではなく、保有する資産の信用力にも依存したファイナンスである。このため、証券化スキーム関係者の誰かが破綻した場合、破産処理手続きに SPV が組み込まれ、結果的に投資家が一般債権者として扱われ、本来の元利金償還を受けられなくなる恐れがある。これを防ぐためのスキーム上の工夫が「倒産隔離」である[38]。具体的には、NTT 東西会社のアクセスネットワークを証券化した時に、オリジネータである NTT 東西会社や SPV の倒産（デフォルト）に対して、投資家を守る事が必要となり、投資家が安定した投資を実施する上でも必要となる。スキーム関係者の誰かが破綻した場合でも倒産隔離が適用可能かどうかについて検討する。

①-1：オリジネータの倒産回避

SPV がオリジネータや投資家から経営面で人的・資金的に影響を受けていると、オリジネータの倒産回避の影響が SPV におよぶ可能性がある。しかし、今回提案した証券化スキームは、SPV を完全にオリジネータの影響を受けない第三者として設立する事を考慮しているため、倒産回避が可能となる。

①-2：SPV の倒産回避

SPV 自体にデフォルトが発生すると、投資家や資産自体の利用者にも迷惑が掛かり、資産価値も大きく低下する。しかし、今回提案した証券化スキームの SPV が発行する債券は、政府の信用供与が成されている事から、まずデフォルトの可能性は低いと考えられる。更には、スキーム関係者から SPV が破産等を申し立てられる事を避けるために、スキーム関係者と SPV の間で SPV に破産申立て等を行わない旨の契約が締結される事で回避する事も可能となる。

以上より、アクセスネットワーク資産の証券化時の「倒産隔離」の技術は満たされるといえる。

技術②：仕組み分析

仕組み分析の技術とは、証券化スキーム（仕組み）を俯瞰し、信用力に影響を及ぼす要素を検討する技術である[38]。例えば、デリバティブを利用している場合に、カウンターパーティの格付けが非常に低い事に引きずられて、対象商品の格付けが落ちてしまい、市場が発展しない事などが考えられる。このような要素を排除するための工夫が適用可能かどうかについて下記に検討する。

②-1：Weak Link の排除

SPV が発行する証券は、SPV 自体の格付けに引きずられて、証券の格付けが低くなるケースがある。対策として、対象資産の証券化の前に、仕組み（スキーム）に関わっている全ての主体の格付けを確認し、これに全体の仕組みが引きずられる事が無いようにする事で排除する事が可能となる。

②-2：税務リスクの排除

スワップ等のスキームを導入する際に考慮が必要となる点として税務リスクが挙げられる。例えば、スワップする商品が海外の場合、相手国と自国の税法が異なることで申告漏れが発生して巨額の追徴金が発生するケースがある。対策として、双方で専門家による文書確認する事で排除が可能となる。

以上より、アクセスネットワーク資産の証券化時の「仕組み分析」の技術は満たされるといえる。

技術③：信用補填

信用補填の技術とは、大きく分けて2つの種類が存在する。1つは原資産のキャッシュフローを利用して行う内部信用補完であり、1つは外部の信用力を利用して補完する外部信用補完である[38]。これらの補填技術を利用し、資産価値としての信用性を向上する事で、証券としての価値を高める事ができる。基本的には、両者を組み合わせて、複数の信用補完をする事で資産の信用補填を頑強なものにするのが一般的である。下記に、それぞれの手法について検討し、適した補完技術を抽出する。

③-1：内部信用補完について

内部信用補完で最も利用される技術としては、優先劣後構造がある。優先劣後構造とは、発行する証券を債券などの優先部分と株式などの劣後部分に分け、裏付資金から生じるキャッシュフローをまず優先部分に支払い、残余があれば劣勢部分に支払うことで、劣後部分がデフォルトリスクを十分吸収できる。

③-2：外部信用補完について

外部信用補完とは、証券化スキームの関係者以外の外部（第三者）の保証を使った信用補完技術である。しかし、証券化初期時にこういった外部信用機関を多用する事は余計なコストを発生させる元となる。そのため、証券化初期時には現金担保（キャッシュコラテラル）による外部信用補完を実施し、商品として市場に浸透してきたのを見計らって部分、全額保証の外部信用補完に切り替えていくことにする。

以上より、アクセスネットワーク資産の証券化時の「信用補填」の技術は満たされるといえる。

技術④：流動性補完

流動性補完の技術とは、証券発行時に必要とする資金が何らかの理由で不足した場合、その不足した資金を提供する技術である。一般的な資金提供者は、高格付けを持った銀行や金融機関が行う[38]。提案スキームのように初の証券化の試みではあるが、政府保証を得ている場合、資産自体のキャッシュフローを転用する事が多い。以上より、アクセスネットワーク資産の証券化時の「流動性補完」の技術は満たされるといえる。

本節において、NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産の証券化に適用するスキームとしては、アーキテクチャ（機能的構造）、リーガルエンジニアリング（法・制度的要素）、信用リスクマネジメント（リスクコントロール）について実現性を検討した。結果、NTT 東西会社のアクセスネットワークを証券化する際には、電気通信事業法における法的規制緩和が必要であることが分かった。しかし、現在総務省では、規制緩和の方向で議論が進んでいることから緩和する可能性も高い。以上から、提案する証券化スキームはアーキテクチャ（機能的構造）、リーガルエンジニアリング（法・制度的要素）、信用リスクマネジメント（リスクコントロール）で実現性が高いといえる。

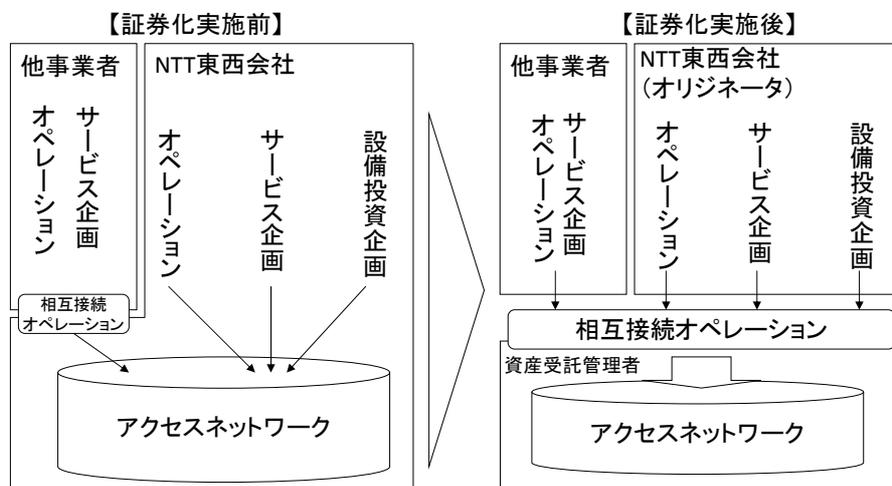


図 3-5：アクセスネットワーク資産の分離イメージ

引用元：井出保夫「証券化のしくみ」

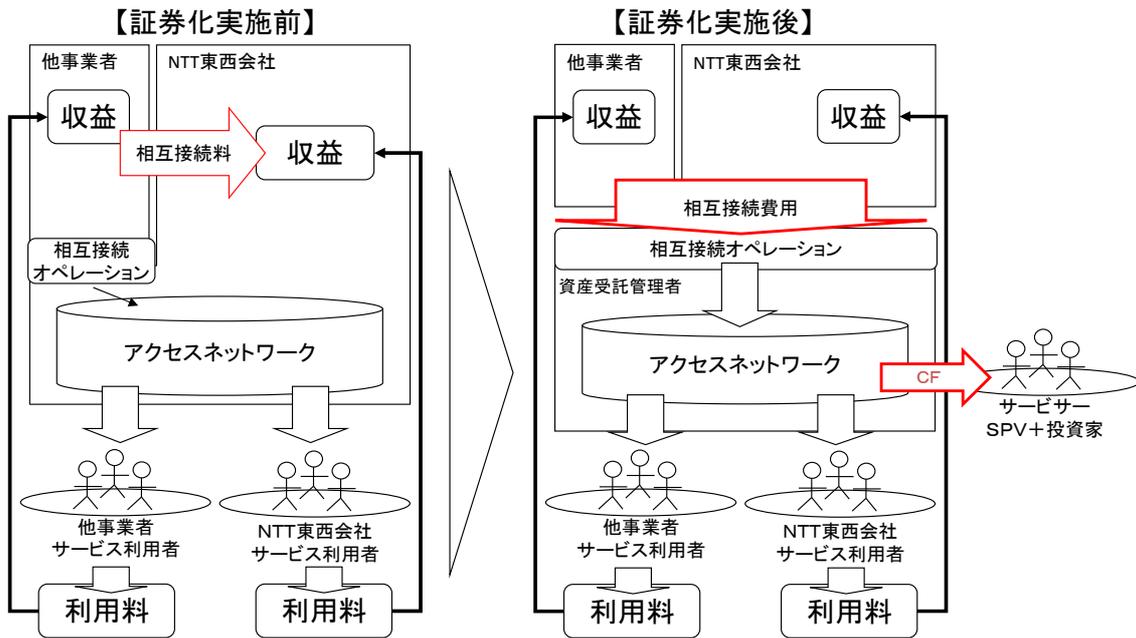


図 3-6 : 資産受託管理者の収益構造イメージ

引用元 : 井出保夫「証券化のしくみ」

3-4：証券化の効果の検討

前節までに、アクセスネットワーク資産を証券化して、資産売却から資産リスクの排除と資金調達を可能とするスキームを提案した。本節にて、NTT 東日本会社のアクセスネットワーク資産を証券化した際の収益性についてシミュレーションする。また、証券化実施後の企業価値を図る指標として、投資効率（ROI：Return On Investment）及び自己資本利益率（ROE：Return On Equity）を算出する。

3-4-1：証券化における信用リスクの定量化における検討

証券化における収益性の検証方法は、対象証券のリスクの定量化となる[39]。これは、前節において検討した信用リスクを定量的に算出することであり、対象証券に対して「どれくらいの収益を、どれくらいの確率で取得可能なのか」を定量的に算出する。一般的な資産評価方法は、国内外の不動産業界では通例となっている「収益還元法」がある[29]。アクセスネットワークは、マンションのように資産構築後にユーザが入居し、月々の収益が入るスキームに近いので、同様の手法でシミュレーションする。

収益還元法では、収益価格を求める Discounted Cash Flow（以下、DCF 法）がある。DCF 法は、初めに①証券化対象資産の売却額（以下、転用価格）を算出し、②証券化対象資産に関わる年度毎の損益価格と資産価値を算出する。次に、③内部収益率と投資期間を決定し、④対象資産の年度毎の損益価格と資産価値の現在価値を算出する。投資判断方法は、③で決定した内部収益率と投資期間で、④で算出した対象資産の損益価格と資産価値の現在価値と、①で算出した投資額（ここでは対象証券を得るために初期投資した額（＝転用価格））との差がプラスになる確率によって判断する。上記の証券化対象資産のパラメータは、様々な要素によって変動する事が考えられる。よって、投資判断に影響を与えるパラメータの変動確率分布を実績値から算出し、その確率分布の中でランダムに変動させるモンテカルロシミュレーションで算出する。

上記で述べた手法から、アクセスネットワーク資産を証券化した際の検証方法を述べる。上記①では、アクセスネットワーク資産を売却した時の転用価格を算出する。上記②では、証券化対象資産のキャッシュフローとして生み出す収益と、対象資産の維持運営に必要な経費（例：故障が発生した場合の経費、資産を保有する事によって発生する経費）がある。この場合、証券化対象資産であるアクセスネットワークが生み出す収益と、その維持運営費（故障経費、保有経費）の差分が対象資産の利益（＝収益－維持運営費）となる。また、資産価値は、①で算出した転用価格と毎年発生する減価償却費との差分から対象資産の資産価値を算出する。上記③では、内部収益率と投資期間を決定する。上記④は、②で算出した年度毎の利益を投資期間まで合計し、現在価値として算出する。また、投資期間終了時の資産価値を現在価値として算出する。結果、双方を加算して算出する。結果、④で算出した価格と①で算出した価格の差分が、各種パラメータを変動確率分布で複数回変動さ

せてプラスになる確率で投資判断を行う。

3-4-2：シミュレーションの実施

3-4-2-1：証券化の収益性のシミュレーション

本節において、シミュレーションに必要な前提・パラメータ方法について述べる。前述した DCF 法で必要なパラメータは、各年度での利益（収益，故障経費，保有経費）と資産価値（転用価格）である。具体的には，通信局（以下，ビル）毎のアクセスネットワーク資産の収益，故障経費，保有経費と転用価格を算出する必要がある。しかし，そのような詳細なデータは一般公開されていない。更に，昨今の通信サービスの変遷は早く，ユーザの入れ替わるため，アクセスネットワーク資産の収益，故障経費，保有経費が変わる。これはアクセスネットワーク資産が，現状の光サービス需要に強く依存することを示している。そこで，都道府県別のアクセスネットワーク資産の収益，故障経費，保有経費は，NTT 東西会社が定めた都道府県別の光サービスを提供可能な「光配線区間数」を基に算出する。また，都道府県内のビル別の光配線区間数は，公開されていない。しかし，都道府県内の光サービスへの需要が高いエリアのビルには，他事業者の伝送装置を設置して相互接続をしている。そのため，都道府県内のビル別のアクセスネットワーク資産の収益，故障経費，保有経費は，ビル毎の「事業者数」を基に算出する。また，アクセスネットワーク資産の転用価格は，資産需要から算出される部分もあるため，収益，故障経費，保有経費と同じ考え方で算出する。次に，前述した変動確率分布として三角分布を使う。一般的には，二項分布，正規分布，ポアソン分布など適用するパラメータに合った分布を用いるべきである。しかし，三角分布以外であれば適用するパラメータの最大値以上（最小以下）となるケースが発生する。このようなケースは誤差の範疇かどうか実績がなく，判断ができないため，本論文では三角分布を適用する。以上から算出したビル毎のアクセスネットワーク資産の収益，故障経費，保有経費，転用価格の最小値，平均値，最大値で算出する。

シミュレーションの前提は，前節にて述べた法的規制は整備され，証券化時のスキームに必要なサービサー・アレンジャー等は成立し，証券化スキームは完備される事とする。また，投資期間を 3，5，10 年とし，内部収益率を 2.0%から 6.0%（0.5%間隔）までとし，シミュレーションに使用するパラメータは収益，故障経費，保有経費，転用価格とする。各種パラメータは三角分布に従い，分布内でランダムに値を変動させる。3，5，10 年後の収益は H24~H26 までの営業収益（IP 関連）の伸び率[40]を加味する。

次に，各パラメータの算出方法について述べる。まず，NTT 東日本の平成 26 年度（16 期）の経常利益（1,220 億）[40]から，IP 系，音声，その他の営業収益の割合を表 3-7 のように算出し，IP 系収益を NTT 東日本のアクセスネットワークの収益（601 億円）とする。また，NTT 東日本の相互接続約款の故障時コスト（1,313 円/心・年間）[42]，設備管理運営コスト（1,714 円/人）[43]，単心ケーブルの創設費（17,279 円/回線）[44]を用いて，各エリアのパラメータを設定する。そのために，総務省[31]が発表した都道府県別のサービスを提供するブロックである光配線区間数（約 70 万）からその比率を求め，サービス比率とする。さらに，総務省が発表した[41]NTT 東日本のサービス（FTTH）の加入者数（1,034 万

人) にサービス比率を掛けたものを都道府県毎のエリア光ユーザ数とする。これらを用いて各エリアの収益，故障経費，保有経費，転用価格を以下のように算出する：

- ・ 収益 = NTT 東日本のアクセスネットワークの収益 × サービス比率
- ・ 故障経費 = 故障時コスト × エリア光ユーザ数
- ・ 保有経費 = 設備管理運営コスト × エリア光ユーザ数
- ・ 転用価格 = 単心ケーブルの創設費 × エリア光ユーザ数

上記の方法で NTT 東日本管轄の 17 都道府県に対する算出した結果を表 3-8 にまとめる。シミュレーション対象エリアは，収益規模を大中小に分けるため，光配線区間数[31]の最大，中間，最小から NTT 東日本の東京，福島，山形エリアを対象とする。そして，東京，福島，山形エリア内のビル毎に他事業者が参入している事業者数を Appendix1 (東京)，Appendix2 (福島)，Appendix3 (山形) に示す[45]。対象エリア内の他事業者数の最大値，最小値，平均値に対して，東京，福島，山形エリア全体の収益，故障経費，保有経費，転用価格から，対象エリアの収益，故障経費，保有経費，転用価格の最大値，最小値，平均値を得ることができる(表 3-9,表 3-10,表 3-11)。シミュレーションでは，収益，故障経費，保有経費，転用価格は，上記で得られた各パラメータのエリアの最大値，最小値，平均値からなる三角分布から発生させる。収益に関しては，3,5,10 年後の収益は H24~H26 までの営業収益 (IP 関連) の伸び率[40]を加味する。

証券化した後の 3,5,10 年後の現在価値は，年度毎の利益の総和と資産価値から算出する。資産価値は，売却時の資産価値 (転用価格) に対して各年度において発生する減価償却費が差し引かれた価値となる。減価償却費の算出する前提としては，以下の通りに整理する。

- ・ 取得価格 : 転用価格とする。
- ・ 残存価格 : 最長で 10 年間保持することを想定し，取得価格の 1/10 とする。
- ・ 耐用年数 : 最長で 10 年間保持することを想定し，10 年間とする。
- ・ 期 : 各年度とする。

以上の説明で得られたパラメータを使い，アクセスネットワーク資産の利益については，三角分布 (λ) からランダムに取得した収益 (I_λ) と，三角分布 (χ) からランダムに取得した故障経費 (T_χ) と，三角分布 (τ) からランダムに取得した保有経費 (M_τ) で利益 ($I_\lambda - T_\chi - M_\tau$) を算出する。複数の内部収益率 (r : 2.0%-6.0%) と投資期間 (n : 3,5,10 年) の現在価値を $(I_\lambda - T_\chi - M_\tau)/(1-r)^n$ として算出する。次に，アクセスネットワーク資産の現在価値は，まず証券化時の転用価格 (V_k) から投資期間 (n) までの減価償却費を差し引いた V_n として算出する。更に，複数の内部収益率 (r) と投資期間 (n) の資産価値の現在価値を $(V_n/(1+r)^n)$ として算出する。最後に，証券化時の資産価値は，三角分布 (κ) からランダムに取得した転用価格 (V_k) として算出する。このように算出した値を基に，投資判断を行うパラメータ (G_n) を算出する。 G_n は，内部収益率 (r) と投資期間 (n) の各年度の利益の現在価値 ($\sum_{t=1}^n (I_\lambda - T_\chi - M_\tau)/(1-r)^t$) と投資完了時の資産価値の現在価値 ($V_n/(1+r)^n$) の合計から，転用価格 (V_k) を差し引いた値で算出する。算出式(3.1)は，

内部収益率（ r ）と投資期間（ n ）における G_n がプラスとなるのか、マイナスとなるのかを示している。

$$G_n = \left[\sum_{n=1} \frac{(I_n - T_n - M_n)}{(1+r)^n} \right] + \frac{V_n}{(1+r)^n} - V_k \quad (3.1)$$

以上の算出式（3.1）を使い、NTT 東日本の東京、福島、山形エリアにおける証券化資産が、設定された投資期間（ n ）と内部収益率（ r ）で1,000回の試行回数を繰り返した時に、投資効果がある（ G_n がプラスになる頻度）確率を算出する（図 3-12）。図 3-13 に示したシミュレーション結果は、横軸が内部収益率であり、縦軸が投資に対して利益が出る収益発生確率であり、投資期間（3、5、10年）毎に結果を示す。図 3-13 より、一般的な不動産の証券化同様に長期の投資期間と低い収益率であるほど投資効果が高くなる事が分かる。

更には、他の証券、債券における収益率との比較を表 3-14 に示す。比較軸を同等にすべく NTT 東日本会社の東京、福島、山形エリアのアクセスネットワーク資産の証券化によって得られる収益率は、最も低い内部収益率（6.0%）と収益発生確率との積で算出した（例：NTT 東京エリア（10年）の内部収益率×収益発生確率＝6.0%×87.6%＝5.26%）。結果、日本国債及び米国国債（最大で 2.22%）と比較して、3つ（東京、福島、山形）エリアの証券は、3年で 3.28%（東京）や 3.36%（福島）や 3.34%（山形）となるため、すべてのエリアで高い事が分かる（表 3-14）。しかし、市場が活性化し、洗練された不動産証券化での平均的な年次収益率（7.63%）と比較すると、10年で 5.26%（東京）や 5.44%（福島）や 5.47%（山形）となるため、及ばない事が分かる。これは、本証券は政府保証による証券のため、最も低リスクの金融商品である国債と同じ低リスクでありながら国債と比べて高い収益率を打ち出すことができるので、投資対象になるといえる。

本検討結果より、NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産を証券化する事で得られる収益率は、日本国債、米国国債より高いと推測できるが、不動産証券並みにまで収益率を高める必要があることが分かった。しかし、本検討において適用した転用価格は NTT 東西会社が相互接続の際に課す光ファイバ 1 心当たりの創設費に対して減価償却費を毎年差し引いた額をその時の現在価値として算出したが、本来であれば不動産の価値評価同様に資産自体の簿記上の評価に加えて周辺環境での評価が加算される事が考えられる。更には、証券化対象資産であるアクセスネットワークという資産に対しての市場の需要は、非常に高い事から、簿記上の価格よりも更に高額での転用が可能であるとも考えられる。

表 3-7：NTT 東日本のアクセスネットワークの収益
(単位：億円)

	営業収益	割合	予想収益
IP系	¥8,696	49%	¥601
音声	¥4,685	27%	¥324
その他	¥4,272	24%	¥295
合計	¥17,653	100%	¥1,220

表 3-8 : NTT 東日本のエリア毎の損益

	光配線区間数	光サービス比率	光ユーザ数	全国 単位:億円			
				収益	故障経費	保有経費	転用価格
東京	178452	25%	2609497	151.7	2.3	44.7	450.9
神奈川	90104	13%	1317588	76.6	1.2	22.6	227.7
埼玉	73962	10%	1081544	62.9	1.0	18.5	186.9
北海道	61159	9%	894326	52.0	0.8	15.3	154.5
千葉	60879	9%	890231	51.7	0.8	15.3	153.8
長野	31623	4%	462422	26.9	0.4	7.9	79.9
茨城	27635	4%	404106	23.5	0.4	6.9	69.8
福島	26403	4%	386090	22.4	0.3	6.6	66.7
群馬	25291	4%	369829	21.5	0.3	6.3	63.9
宮城	24038	3%	351507	20.4	0.3	6.0	60.7
新潟	23575	3%	344736	20.0	0.3	5.9	59.6
栃木	22643	3%	331108	19.2	0.3	5.7	57.2
岩手	17322	2%	253299	14.7	0.2	4.3	43.8
山梨	13704	2%	200393	11.6	0.2	3.4	34.6
青森	13107	2%	191663	11.1	0.2	3.3	33.1
秋田	9393	1%	137353	8.0	0.1	2.4	23.7
山形	7817	1%	114308	6.6	0.1	2.0	19.8
合計	707107	100%	10340000	601.0	9.3	177.2	1,786.6

表 3-9 : 東京エリアのアクセスネットワーク資産の損益分布

億円	収益 (1年目)	収益			故障経費	保有経費	転用価格
		3年目	5年目	10年目			
最大値	¥3.51	¥3.55	¥3.58	¥3.68	¥0.05	¥1.03	¥10.43
最小値	¥0.02	¥0.02	¥0.02	¥0.02	¥0.00	¥0.01	¥0.07
平均値	¥0.75	¥0.76	¥0.77	¥0.79	¥0.01	¥0.22	¥2.23
伸び率	101%	101%	102%	105%	-	-	-

表 3-10 : 福島エリアのアクセスネットワーク資産の損益分布

億円	収益 (1年目)	収益			故障経費	保有経費	転用価格
		3年目	5年目	10年目			
最大値	¥0.41	¥0.41	¥0.41	¥0.43	¥0.01	¥0.12	¥1.21
最小値	¥0.01	¥0.01	¥0.01	¥0.02	¥0.00	¥0.00	¥0.04
平均値	¥0.12	¥0.12	¥0.12	¥0.12	¥0.00	¥0.04	¥0.35
伸び率	101%	101%	102%	105%	-	-	-

表 3-11 : 山形エリアのアクセスネットワーク資産の損益分布

億円	収益 (1年目)	収益			故障経費	保有経費	転用価格
		3年目	5年目	10年目			
最大値	¥0.22	¥0.22	¥0.22	¥0.23	¥0.00	¥0.06	¥0.65
最小値	¥0.01	¥0.01	¥0.01	¥0.01	¥0.00	¥0.00	¥0.02
平均値	¥0.06	¥0.06	¥0.06	¥0.06	¥0.00	¥0.02	¥0.17
伸び率	101%	101%	102%	105%	-	-	-

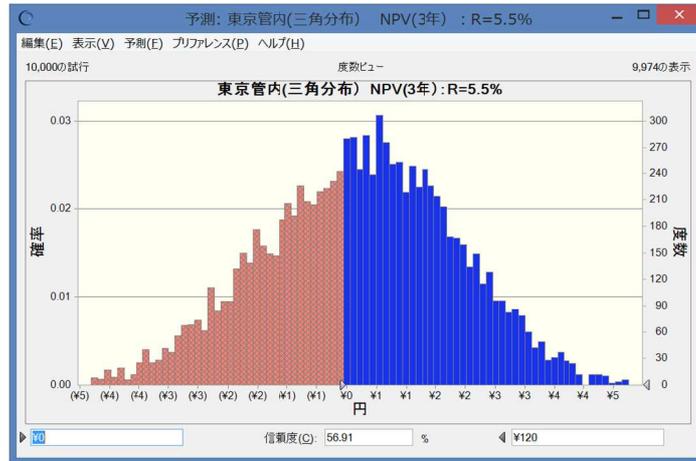
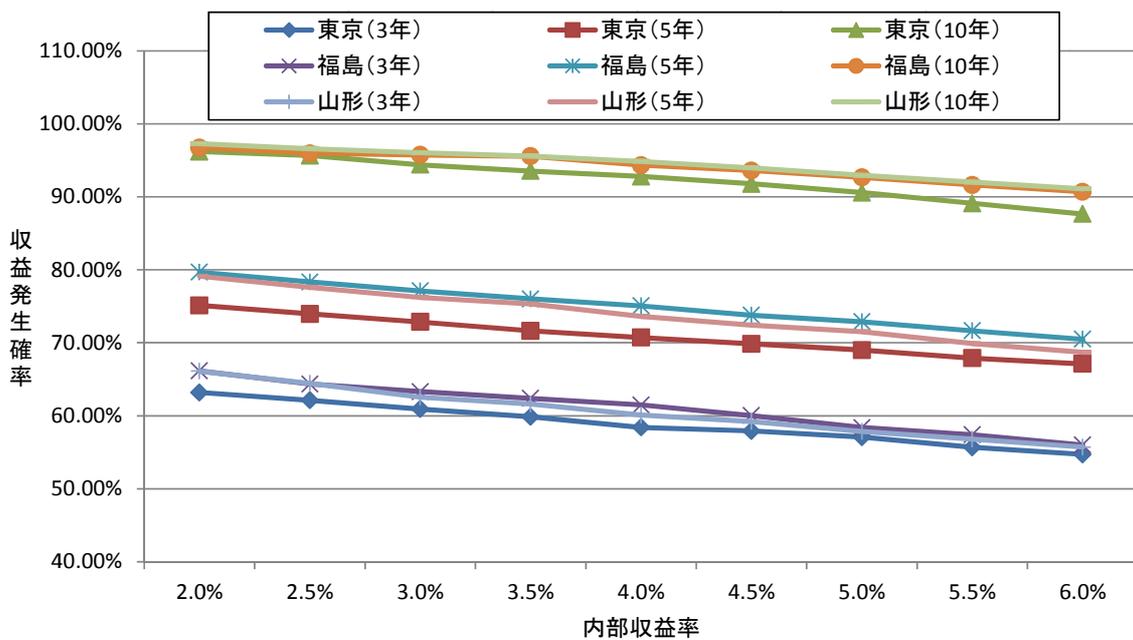


図 3-12 : シミュレーション結果 (一例)



	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
東京(3年)	63.19%	62.12%	60.93%	59.85%	58.40%	57.92%	57.06%	55.67%	54.71%
東京(5年)	75.13%	73.95%	72.85%	71.63%	70.73%	69.86%	69.01%	67.90%	67.12%
東京(10年)	96.20%	95.65%	94.39%	93.54%	92.79%	91.77%	90.57%	89.10%	87.66%
福島(3年)	66.16%	64.35%	63.31%	62.39%	61.49%	60.04%	58.38%	57.40%	56.00%
福島(5年)	79.67%	78.34%	77.12%	76.01%	75.06%	73.79%	72.89%	71.66%	70.50%
福島(10年)	96.73%	95.96%	95.75%	95.55%	94.33%	93.59%	92.66%	91.62%	90.69%
山形(3年)	66.12%	64.45%	62.53%	61.61%	60.10%	59.21%	57.86%	56.80%	55.72%
山形(5年)	79.12%	77.61%	76.21%	75.32%	73.61%	72.42%	71.51%	69.89%	68.70%
山形(10年)	97.27%	96.61%	96.03%	95.59%	94.85%	93.96%	92.94%	92.01%	91.10%

図 3-13 : 収益率・投資期間毎の収益発生確率分布

表 3-14 : 収益率比較図

		収益率値
日本国債(3年)	※1	0.05%
日本国債(10年)		0.28%
米国国債(3年)	※2	1.07%
米国国債(10年)		2.22%
NTT 東京エリア(3年)	※3	3.28%
NTT 東京エリア(5年)		4.03%
NTT 東京エリア(10年)		5.26%
NTT 福島エリア(3年)		3.36%
NTT 福島エリア(5年)		4.23%
NTT 福島エリア(10年)		5.44%
NTT 山形エリア(3年)		3.34%
NTT 山形エリア(5年)		4.12%
NTT 山形エリア(10年)		5.47%
国内不動産証券化年次収益率(2014年)		※4

※1 : 財務省 (国債募集期間 平成 27 年 9 月 3 日(木)~平成 27 年 9 月 30 日(水))
「国債 (3 年債)」「国債 (10 年)」参照

<http://www.mof.go.jp/jgbs/individual/kojinmuke/>

※2 : Bloomberg (2015.9.9)「米国債(U.S. Treasuries)」参照

http://www.bloomberg.co.jp/markets/rates_us.html

※3 : 図 3-13 における結果より,「収益率 (6%) と発生確率との期待値」によって算出
例 : NTT 東京エリア (10 年) の収益率

$$\text{収益率} \times \text{発生確率} = 6\% \times 88.3\% = 5.26\%$$

※4 : 「ARES (不動産証券化協会) 国内不動産証券の年次収益率」参照

<http://index.ares.or.jp/ajpi-a-ja.php>

3-4-2-2：企業価値のシミュレーション

本節において、企業価値のシミュレーションに必要な前提・方法について述べる。最終的に、設備投資への要求条件として資産リスクを減らし、資金調達を可能とした結果、企業として設備投資効率や自己資本利益率を向上する必要があるため、企業価値を図る指標として投資効率（ROI：Return On Investment）及び自己資本利益率（ROE：Return On Equity）を使う。

ROE, ROI を算出するため、2013年度と2014年度のNTT東日本会社の財務諸表から以下の財務情報を得る[40][46]。証券後の固定資産は、2014年度の証券化前の固定資産（29,284億）から表3-8の全国のアクセスネットワーク資産である転用価格合計（1,786.6億）を差し引いた価格（27,498億）として算出する。証券後の利益は、証券化前の2014年度の経常利益（1,220億）と当期純利益（696億）に転用価格を固定資産売却（1,786.6億）として加算する。更には、そこから固定売却額の3%が証券化に掛かるコスト（53.5億）として差し引いた額である経常利益（2,953億）と当期純利益（2,429億）を証券化後の2014年度の利益とする。2014年度の資産と負債は、証券化前の資産と負債の比率（63.5%と36.5%）にて固定資産売却（1,786.6億）を按分して計算して、証券後の2014年度の資産（20,965億）と負債（12,055億）として算出する。以上の方法にて表3-15を得ることができる。

証券化実施前後のNTT東日本会社の自己資本利益率を指すROEは、当期純利益÷資本で算出することが可能である。投資効率を指すROIは当期純利益÷（（前年度資産+今年度資産）×2）で算出することが可能である。証券化実施前後のROEとROIを示した図3-16では、証券化を実施する事によって減少した資本部分と、増加した収益部分との差異によって、ROEが3.15%から11.58%へ368%増加し、ROIが3.18%から11.28%へ355%増加していることが分かる。

以上から、アクセスネットワークの証券化から資産リスクを減らし、資金調達を可能とした結果、企業価値を図る指標として投資効率（ROI）及び自己資本利益率（ROE）を平均361%（（368%+355%）÷2）向上することが可能といえる。

表 3-15：証券化実施前後の財務表

単位：億円	2013期	2014期 (証券化前)	2014期 (証券化後)
流動資産	5,320	5,523	5,523
固定資産	30,236	29,284	27,498
負債	13,863	12,708	12,055
資本	21,693	22,099	20,965
経常利益	917	1,220	2,953
当期純利益	540	696	2,429

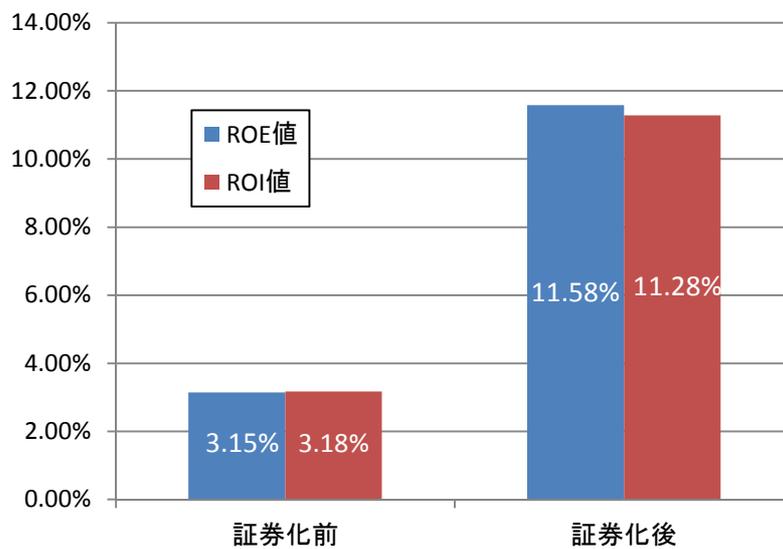


図 3-16：NTT 東日本会社の ROE/ROI

3-5：設備投資への考察

本章において、NTT 東西会社の設備投資の効率化が引いては、国内のアクセスネットワークの設備投資の効率化であり、今後重要な位置を占めてくることを示した。そこで、同社の設備投資の効率化手法について検討し、先行研究を踏まえ、アクセスネットワーク資産を証券化するスキームを提案した。提案スキームの実現性をアーキテクチャ（機能的構造）、リーガルエンジニアリング（法・制度的要素）、信用リスクマネジメント（リスクコントロール）として検討し、電気通信事業法における法的規制緩和が必要であることが分かった。しかし、現在総務省では、規制緩和の方向で議論が進んでいることから緩和する可能性も高く、提案スキームの実現性は高いことが分かった。更には、NTT 東日本会社のアクセスネットワーク資産を証券化した収益率についてシミュレーションし、日本国債、米国国債より高いと推測できるが、不動産証券並みにまで収益率を高める必要があることが分かった。最終的には、アクセスネットワークの証券化から、資本部分は減少し、収益部分が増加したことによって、企業価値を図る指標として投資効率（ROI）及び自己資本利益率（ROE）を平均 361%向上することが分かった。

しかし、本結果においては今後に向けた課題も残る。上記スキームの導入における効果として証券化の収益率を検証したが、本来であれば証券化による効果の最大のポイントは長期的な企業価値の向上である。しかし、証券化導入時の企業価値予測において必要な、アクセスネットワークのエリア毎の期待収益、故障経費、保有経費、転用費用など証券化資産を細分化された情報は全て公開されていない点がある。今後は、証券化による最大のテーマである企業価値の向上がなされるのかどうかという点についても検討すべきである。更には、昨今の設備投資は、ハード（通信設備）への投資からソフト（IT 投資）へとシフトしている事も事実である[47]。そのため、今後は通信会社における広義な意味での設備投資効率・収益構造の効率化への見地を深めて検討すべきである。

4 章：設備選定への研究

通信会社での設備選定事業は、ユーザからのサービス開通依頼に対してユーザ宅から通信局の通信装置まで網の目状に存在するアクセスネットワークから、最適なルートを割り出すことである。この時、アクセスネットワークでの設備選定における要求条件は、市場の拡充時期（拡大期，安定期）によって変わってくるため、最適の観点も変わる。

1 つ目の市場拡大期では、設備選定時の処理時間の最適化である。設備選定はオペレータによる処理を実行するため、網の目状に敷設されたアクセスネットワークから最適な経路を探索する処理時間は短ければ短いほどオペレータの拘束時間が短くなる。

2 つ目の市場安定期では、設備選定時に考慮すべきパラメータの最適化である。拡大期の設備選定は、光損失を下げるために接続点が少ない選定ルートの方が品質は良いとされていた。しかし市場安定期では、サービスも多様化するため、接続点に加えてユーザがサービスを使用する時の帯域が多ければ多いだけユーザの満足度も良くなる。

以上の観点から、本章では、アクセスネットワークにおける設備選定時の処理量の現状課題とその解決を 4-1 節で述べる。次に、アクセスネットワークにおける設備選定時のパラメータとして論理情報を加味した選定の現状課題とその解決を 4-2 節で述べる。以上の 2 点の分析をもとに 4-3 節で考察を与える。

4-1 : 市場拡大期でのアクセスネットワーク全体の処理量を加味

した選定

4-1-1 : 序文

市場拡大期のアクセスネットワーク (Optical Access Network : OAN) の設備管理構成を図 4-1 に示す。OAN は、設備管理方針が異なる 4 つの設備管理区分で構成され、設備選定時にはそれぞれの設備管理区分に対して個々に OSS (以下、ドメイン) を搭載し、各ドメイン間の情報流通を制御する制御 OSS にて構成されるアーキテクチャが検討されている [11]。各設備管理区分のドメインについては、以下の通りである。

- 通信局外の通信設備である所外設備 (Outside Optical Distribution Network : O-ODN) の OSS (Outside Optical Distribution Network Domain : O-ODN-D)
- 通信局内においてサービスを提供する装置設備 (Optical Line Terminal : OLT) の OSS (Optical Line Terminal Domain : OLT-D)
- 光ファイバを収納/接続する Cable Rack (CR) と OLT 間の配線等を管理する所内光配線設備 (Intro-office Optical Distribution Network : I-ODN) の OSS (Intro-office Optical Distribution Network Domain : I-ODN-D)
- 複数の OLT を集線してコアネットワークへ伝送する集線設備 (SWitch : SW) の OSS (SWitch Domain : SW-D)

OAN で対象となる設備は、その特性が個々に異なることから、ドメイン間の独立性を維持し、ドメイン毎に設備管理・選定アルゴリズムを持つことが効率的である。また、SW 内の Switch Card (以下 SW-C) と OLT 内の Optical Subscriber Unit (以下 OSU) との配線は、設備構築時に全て配線してしまうため、新規工事が発生する可能性が高い O-ODN-D, I-ODN-D, OLT-D の連携による設備選定技術が研究されている [48] [49]。更には、O-ODN-D, I-ODN-D, OLT-D での設備選定は、制御 OSS によって、設備管理区分の分界点となる設備情報を流通することで、ユーザ宅へ設置予定の ONU から OLT 内に実装されている Optical Subscriber Unit (以下 OSU) までのルートを経率的に選定する [11]。具体的には、下記選定アルゴリズムにて選定が実施される。

- 1) O-ODN-D においてユーザ宅の ONU から CR 内の端子位置までのルートを選定する。
- 2) OLT-D において利用可能な OSU を選定する。
- 3) I-ODN-D において O-ODN-D, OLT-D にて選定された CR の端子位置と OSU とを結ぶルートを選定する。

OAN の配線形態では、Single Star (SS) システムと Passive Optical Network (PON) システムの方式がある。SS サービスは OSU と ONU が 1 対 1 となる配線となるが、PON

サービスは所内配線設備の **Splitter**（以下所内 **SP**）で複数のユーザで共有するサービスである（図 4-1）。市場黎明期では、**SS** サービスの需要が大規模で、**PON** サービスの需要が小規模な時期は、上記の選定アルゴリズムで問題がなかった。しかし、市場拡大期である **PON** サービスの需要が大規模となった場合は、通信局内の所内 **SP** の設置場所により、選定時間と設備コストとの間にトレードオフが発生する。

(1) 所内 **SP** の設置位置を **J-CR** 側にした場合

J-CR 内にある所内 **SP** と **OLT** 内にある **OSU** が接続済となっている。そのため、**I-ODN-D** の選定は、所内 **SP** の空き端子を確認するのみでよいため、選定時間は 1 回で終わる。しかし、**J-CR** と **CR** の間の光ファイバを大量に要するため、設備コストは大きくなる。

(2) 所内 **SP** の設置位置を **CR** 側にした場合

所内 **SP** と **OSU** の間の光ファイバは 1 心となるため、**OLT** と **CR** 間の光ファイバが少量で済み、設備コストは抑えられる。しかし、**OLT-D** では **OSU** と **SP** との接続関係が不明であり、他の **CR** に設置されている所内 **SP** と接続されている **OSU** を選定した場合、選定時間が多く必要となる場合がある。

このようなトレードオフへの対策は、**I-ODN-D** と **OLT-D** 間で、所内 **SP** と **OSU** の接続情報や所内 **SP** の設置位置（**CR** や **J-CR**）を流通する方法が考えられる。しかし本対策は、以下の理由により不適切と考えられる。

理由 1：ドメイン間インターフェースの増加

昨今のブロードバンド需要から、サービス要求も多様化し、サービス毎に異なる **OLT** が必要となる。例えば、 n 個のサービスがあれば **OLT1**～**OLT n** のように n 個のサービス特性を持つ **OLT** が存在し、それらを制御する **OLT-D** も個々に構成される。そのため、**I-ODN-D** と **OLT-D** 間に要するインタフェースも n 個必要となり、サービス増加と共にインタフェースが増加する（図 4-2）。

理由 2：流通情報量の増加

通信産業は、競争戦略のため、魅力的なサービスを迅速にリリースする必要がある。そのため、ユーザが利用するサービス内容の変更も頻繁に発生する。**OSU** に收容されるユーザがいなくなった場合、所内 **SP** と **OSU** 間の接続は頻繁に抜去される。よって、両ドメイン間では、頻繁に接続情報や位置情報が流通されるため、情報量が過多になる。

このように、ドメイン間インターフェースの増加と、流通情報の増加というデメリットから、ドメイン間での情報流通は、制御 **OSS** を介した端子情報等、最小限にした上で選定時

間と設備コストを最小化する必要がある。更には、本章では既存の選定アルゴリズムについての現状把握と問題設定を行った上で、トレードオフを解決する新たな選定アルゴリズムを検討する。

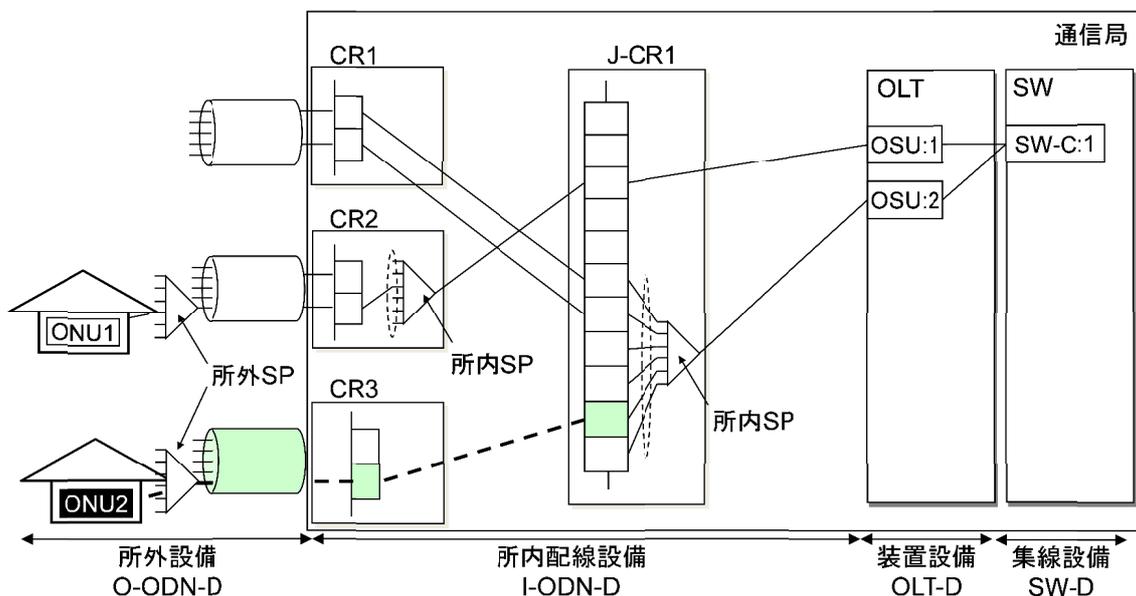


図 4-1：拡大期の光アクセスネットワークの構成

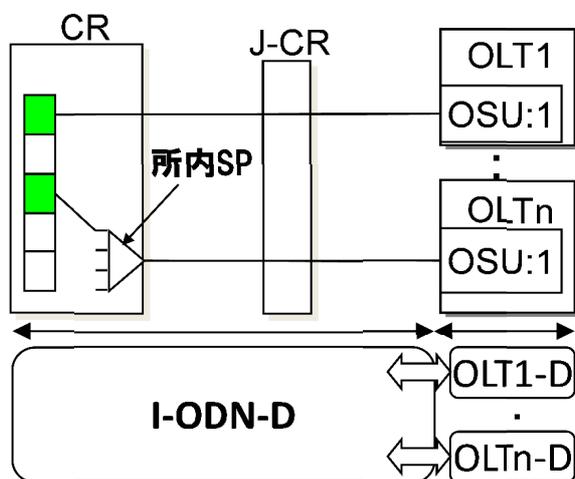


図 4-2：多 OSS 間インターフェースの必要性

4-1-2：現状把握と問題設定

まず、所内 SP 設置位置による選定時間と設備コストを比較し、トレードオフの関係を明らかにする。以下、

Type 1: J-CR に所内 SP を設置する配線形態

Type 2: CR に所内 SP を設置する配線形態

とする。需要を増加させた場合の選定時間・設備コストについて比較する。なお比較を明確にするため、J-CR 数は 1 と固定し、需要は各 CR 配下に均等に発生すると仮定する。

選定時間は、Type1 の場合、J-CR に所内 SP を設置しているため、どの CR に需要が発生しても、収容可能な OSU 情報が OLT-D によって選定され、I-ODN-D において所内 SP と CR 間の空き光ファイバを選定することで処理は終了する。これは需要増加時も同様であり、収容限界となった OSU は OLT-D では選定対象外となるため、空き OSU を選定する。

例えば、図 4-3 のように 3 枚の OSU が登録されている状況において、OSU1、OSU2 が収容限界となった場合を考える。新規需要が CR3 に発生した際には、OSU1、OSU2 は選定対象外となり OSU3 下部の所内 SP 空き端子を利用する。このように Type1 の配線形態の場合、コスト抑制のため、高使用率な OSU を優先的に選定する方が効率的であることを意味する。使用率の高い OSU から順に選定するため、選定時間が需要量に比例して増加することはない。これに対し、Type2 の場合、選定時間は需要が発生した CR の位置に依存する。

Type2 では CR に所内 SP を設置するので、各所内 SP に対応する OSU を CR 数分 OLT 内に設置する必要がある。しかし、OLT-D では OSU 使用率順に OSU 選定されるため、需要が発生した CR に設置されている SP と接続されている OSU が選定されるまで選定を繰り返す。具体例を以下に示す。図 4-4 のように CR3 で需要が発生したとする。最初の選定候補が OSU1 であった場合、該当する OSU 下部の所内 SP が設置されている CR1 は需要が発生した CR3 とは異なるため、選定は失敗となる。選定候補 OSU を更新しながら選定を繰り返し、最終的に、需要が発生した CR に設置されている所内 SP と接続されている OSU3 が選定されたときに選定が成功して終了する。以上のように、Type1 の場合は短い選定時間で終了するが、Type2 の場合は、需要が発生した CR によってその選定回数が増えるため、Type 1 よりも多くの選定時間を要する。

設備コストは、Type 1 の場合、需要が小規模な状態では、光ファイバ、SP、OSU の設備が少量で済む。しかし、需要増加時には、J-CR 内に所内 SP を設置しているため、CR と J-CR との間に多くの光ファイバが必要となる。これは、所内 SP によって 1 心の光ファイバが複数心に分岐されるために発生する（図 4-5）。一方、Type2 の場合、需要が小規模な状態では、各 CR に所内 SP を設置する必要があるため、Type1 と比較して多くの SP と OSU が必要となる。また、需要が増加した場合、CR と J-CR 間の光ファイバ量は増加しないが、所内 SP と OSU の量は Type1 と比較して多く必要になる（図 4-6）。

需要量に対する総選定回数の推移を図 4-7 に示す。ここでは、Type2 の場合、全選定が搭載 OSU 数の平均の回数で終了すると仮定している。Type1 は全選定が 1 回で終了するので、

総選定回数は需要数と等しくなるのに対し、Type2 における総選定回数は、需要が発生した CR に依存するため、Type1 と比較して Type2 は需要数が増えるのと比例して選定回数が多くなることから、必然的に選定時間が長くなる。

需要量 D に対して、Type i ($i = 1, 2$)での光ファイバ数 X_i 、所内 SP 数 Y_i 、OSU 数 Z_i を D の関数として、そのときの設備コストを表す。いずれのタイプでも所内 SP 数と OSU 数は等しく、 $Y_i = Z_i$ ($i = 1, 2$)である。Type1 では、所内 SP 分岐数を S とすると、所内 SP 数は D を S で割った値分必要であり、 $Y_1 (= Z_1) = R(D/S)$ となる。ただし、実数 x に対して $R(x)$ は x の切り上げ、つまり x を下回らない最小の整数を表す。光ファイバは、CR と J-CR 間は需要数分必要であり、J-CR と OLT 間は所内 SP 数分必要であるため、 $X_1 = D + Y_1 = D + R(D/S)$ となる。一方、Type2 では、所内 SP を設置した CR の総数を n_1 とすると、1CR に収容が必要な需要数は $R(D/n_1)$ となる。よって、1CR の所内 SP 数は、 $R\left(\frac{D}{n_1}\right) = R\left(\frac{D}{n_1 \cdot S}\right)$ となる。

最終的に所内 SP 数は、 $Y_2 = R\left(\frac{D}{n_1 \cdot S}\right) \cdot n_1$ となる。光ファイバは CR と J-CR 間、J-CR と OLT 間のそれぞれの区間で所内 SP 数分必要であることから、 $X_2 = 2 \cdot Y_2 = 2R\left(\frac{D}{n_1 \cdot S}\right) \cdot n_1$ となる。光ファイバ、所内 SP、OSU の個々の設備単価を c, s, p とすると、設備コストは $c \cdot X_i + s \cdot Y_i + p \cdot Z_i$ で与えられるので、Type1, 2 各々の設備コストは

$$\text{Type1 の設備コスト : } c \cdot D + (c + s + p) \cdot R\left(\frac{D}{S}\right),$$

$$\text{Type2 の設備コスト : } (2c + s + p) \cdot R\left(\frac{D}{n_1 \cdot S}\right) \cdot n_1$$

となる。図 4-8 に $S = 4, n_1 = 20, c = 1, s = 5, p = 5$ のときの設備コストのグラフを示す。ここで、両者のグラフは階段状の関数であるが、Type1 は $S(=4)$ が小さく $D(=最大 500)$ が大きいと、ほぼ直線のように見える。

以上から、需要増加時には J-CR に所内 SP を設置した Type1 は、選定時間は早いですが、設備コストは高い。逆に、CR に所内 SP を設置した Type2 は、設備コストは低いですが、選定時間は長いトレードオフ関係があることが分かる。

前述の検討から PON サービスの需要増加時に所内 SP の設置位置を変化させたそれぞれの配線形態でトレードオフの関係が確認できた(図 4-9)。現在の PON サービスの需要増加から、設備コストおよび選定時間を最小にするための技術が必要である。この目標を達成するため、まず Type1 の設備コストを削減する方法が考えられる。しかし、一度敷設した光ファイバ等の設備コストを OSS 技術で削減することは不可能である。このため、CR に所内 SP を設置する Type2 の選定時間の削減を目標とする(図 4-10)。

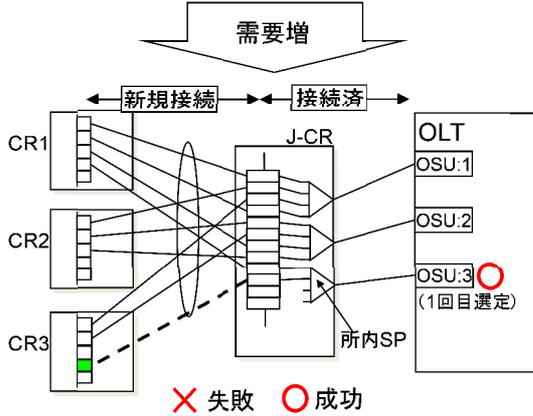
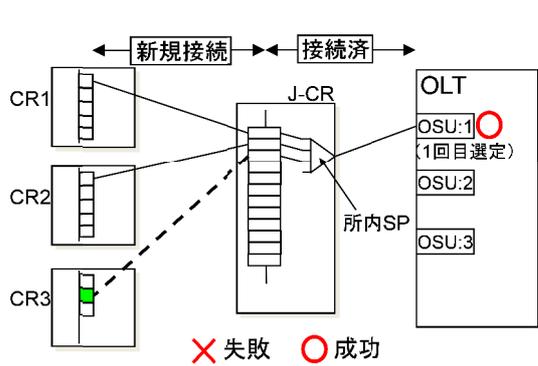


図 4-3 : 選定アルゴリズム (Type1)

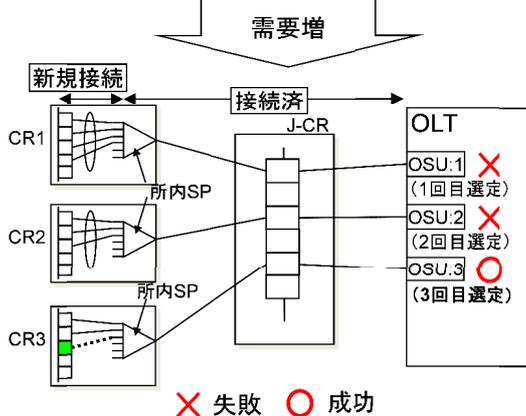
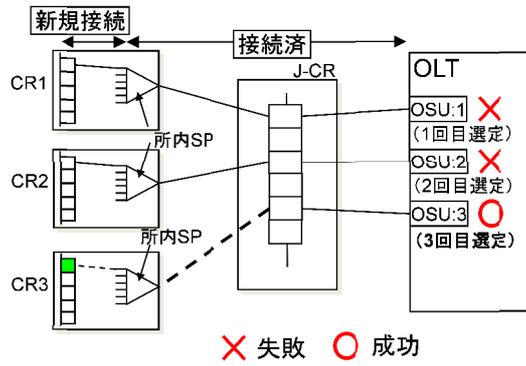


図 4-4 : 選定アルゴリズム (Type2)

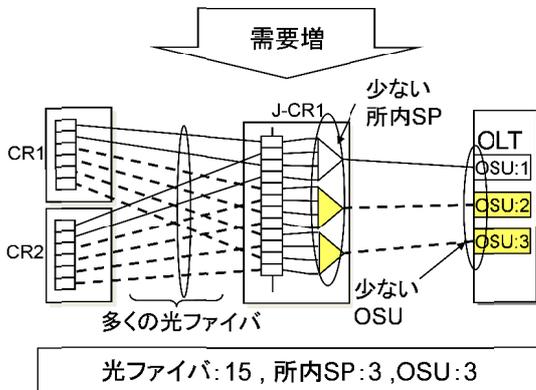
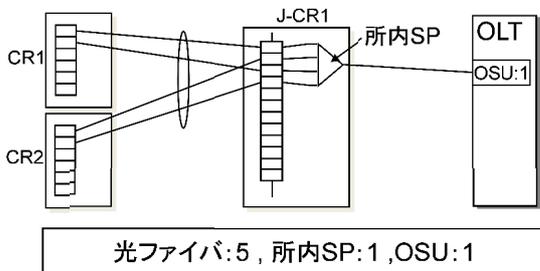


図 4-5 : 設備量の変化 (Type1)

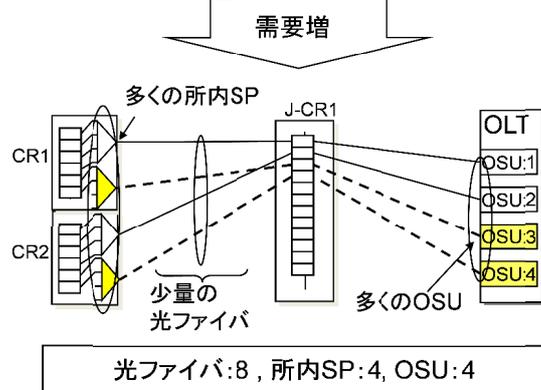
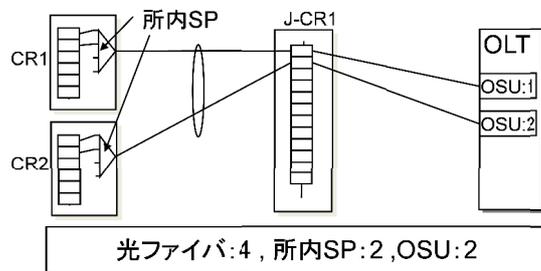


図 4-6 : 設備量の変化 (Type2)

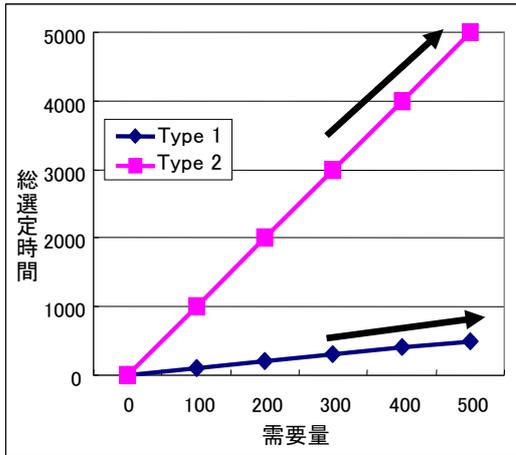


図 4-7：選定回数の比較

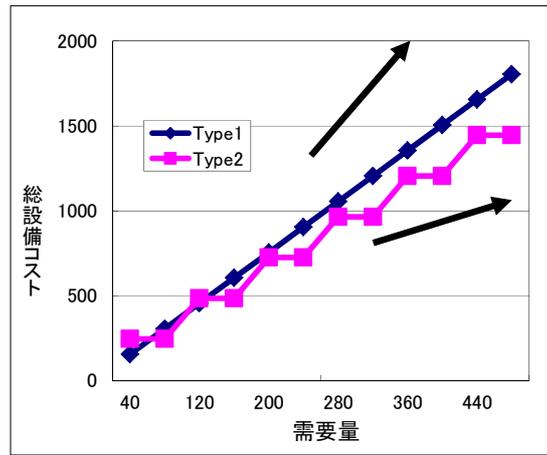


図 4-8：設備コスト比較

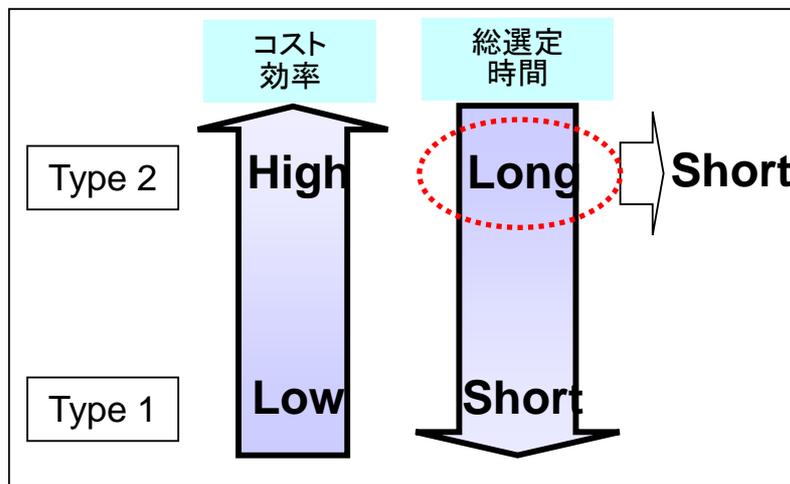


図 4-9：各 Type でのトレードオフの関係

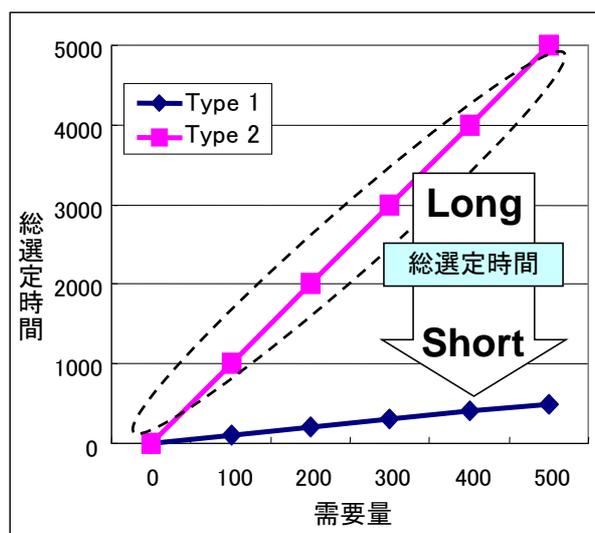


図 4-10：本章で目標

4-1-3 : 提案する選定アルゴリズム

最初に、既存の選定アルゴリズムの選定時間の長時間化要因を検討する。既存選定アルゴリズムを下記に示す (図 4-11)。

- A) オペレータは、OLT-D での選定における 1 回の OSU 候補数 N を選定依頼と共に OLT-D へ送付する。
- B) OLT-D では、 N 分の OSU を選定し、I-ODN-D へ選定結果を送信する。I-ODN-D では、選定結果を受信する。
- C) I-ODN-D では、O-ODN-D で選定された CR 内の端子と、OLT-D で選定された OSU 間のルートを CR 内端子と OSU 候補毎に選定する。
- D) I-ODN-D で全ての OSU 候補で選定失敗した場合、再選定依頼を OLT-D へ送付する。選定成功時には、結果情報をオペレータへ送信し、選定が終了する。

上記の選定アルゴリズムの選定時間の短縮化を検討する上で、 N の候補数は選定回数とドメイン間の送受信回数が影響する。 N を OLT で搭載する最小 OSU 数である 1 とした場合、OLT-D にて選定が成功する OSU 番号を P とすると、 P 回で選定は終了する。しかし、 $P-1$ 回の再選定依頼がドメイン間で送受信されるため、ドメイン間の送受信回数は多くなる。一方、 N を OLT で搭載する全 OSU 数である M とした場合は、OLT-D では 1 回の選定依頼で全 OSU を選定するため、ドメイン間での送受信回数は 1 回で終了する。しかし、 P 回目に選定が成功するはずであるのに対し、 $M-P$ 回の余計な選定が発生するため、選定回数は多くなる。つまり、図 4-12 に示すように、 N を多くすれば選定回数が増え、少なくすれば送受信回数が増えるトレードオフの関係が存在する (図 4-13)。そこで、選定・送受信回数を最小化するような最適候補数を算出する必要がある。

CR 端子と OSU 間で選定成功するまでの選定回数を P とし、OLT-D での選定における 1 回の OSU 候補数が N のときの選定成功までのドメイン間送受信回数を P^{\wedge} とすると、

$$P^{\wedge} = R\left(\frac{P}{N}\right)$$

となる。選定成功までの選定回数 P は次のように選定回数の期待値で与える (図 4-14)。所内 SP を搭載した CR を $n1$ とすると、アルゴリズムの C) において、ちょうど i 回目の選定で成功する確率を F_i とすると、 $F_i = \frac{1}{n1-(i-1)}$ である。よって、 $i-1$ 回目まで選定に失敗し、 i 回目に選定が成功する確率は、 $(1-F_1)(1-F_2)\dots(1-F_{i-1})F_i = \frac{1}{n1}$ となる。そこで、選定回数の期待値は、

$$\sum_{i=1}^{n1} \frac{i}{n1}$$

で与えられる。ドメイン個々における処理時間を

φ : ドメイン間での 1 回の送受信時間

ε : I-ODN-D 内での 1 回の選定処理時間

ε' : I-ODN-D 内での 1 回の送受信時間

δ : OLT-D 内での 1 回の選定処理時間

δ' : OLT-D 内での 1 回の送受信時間

とする. ドメイン個々の選定および送受信時間をそれぞれ α, β, γ とすると,

- ドメイン間での送受信時間 : $\alpha = \varphi \cdot P^\wedge$
- ODN-D 内での選定および送受信時間 : $\beta = \varepsilon \cdot P + \varepsilon' \cdot P^\wedge$
- OLT-D 内での選定および送受信時間 : $\gamma = \delta \cdot P^\wedge \cdot N + \delta' \cdot P^\wedge$

と算出され, 選定アルゴリズム開始から完了までの時間は $\alpha + \beta + \gamma$ となる.

以上により P および P^\wedge が得られると, ドメイン個々の選定時間・送受信時間(以下選定時間)が算出可能となり, 選定アルゴリズムにおける選定時間が最小になるような N が特定できる. この最適な N を用い, 選定時間を最小化する事が可能となる.

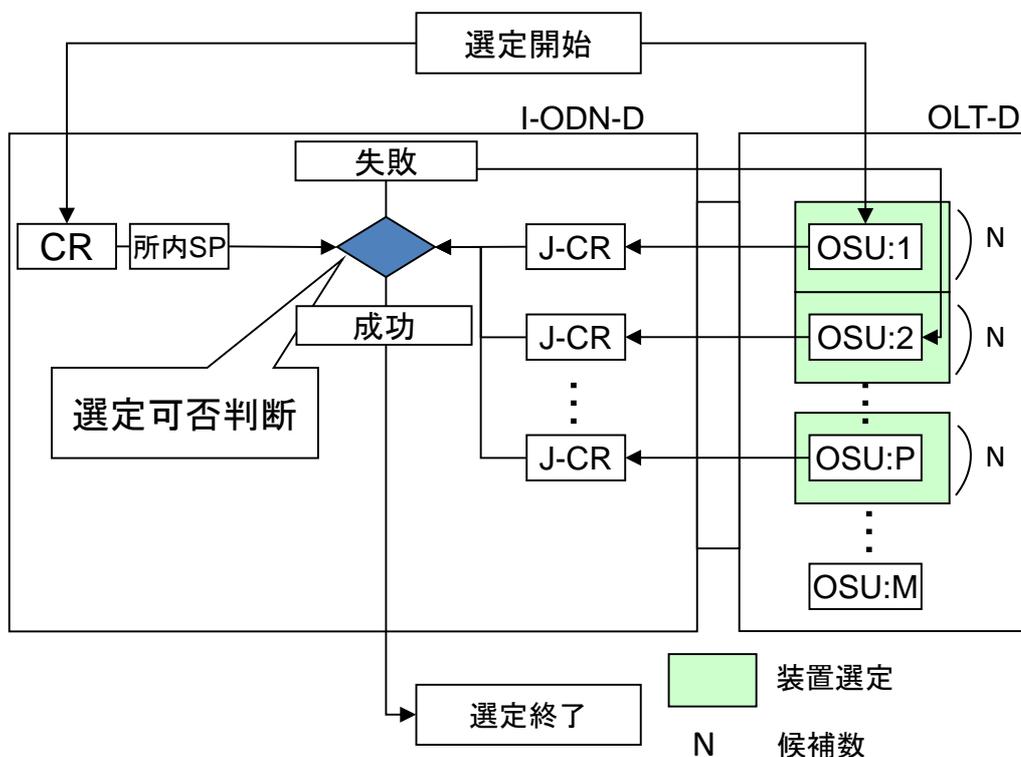


図 4-11 : 既存の PON 選定方法 (Type2)

	OSU 候補数= 1	OSU 候補数= 全OSU数
送受信回数	最大	最小
選定回数	最小	最大

図 4-12 : 各手法での選定回数

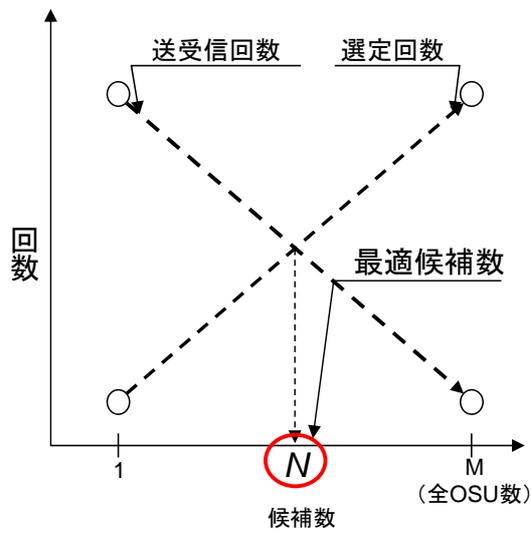


図 4-13：選定時の最適候補数（イメージ）

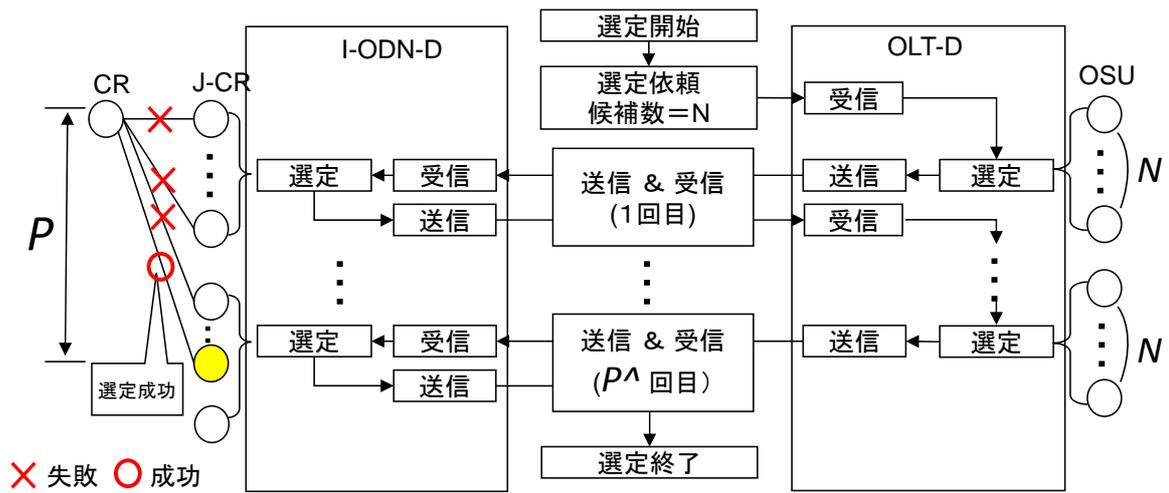


図 4-14：異種ドメイン間での選定・送受信時間

4-1-4：最適化手法の検証

実運用値をもとに、候補数 N が選定時間へ与える影響を数値例にて検証し、最適な選定候補数を求める。計算用の配線形態を図 4-15 に示す。本配線形態は、需要増加に伴う選定時間の変化を明確化するため、全 CR に所内 SP を搭載した状態を仮定する。また、発生する需要は PON の増加を前提にするため、全て PON サービスとし、需要は均一に発生すると仮定する。これらを踏まえ、計算に利用する各種パラメータ値を以下に与える。

- ドメイン間の送受信時間 : $\varphi = 2$
- I-ODN-D 内の選定処理時間 : $\varepsilon = 9$
- I-ODN-D 内の送受信時間 : $\varepsilon' = 1$
- OLT-D 内の選定処理時間 : $\delta = 3$
- OLT-D 内の送受信時間 : $\delta' = 1$

検証方法は、計算用に用意した配線形態において OLT-D 内で 1 回に選定する候補数 N の値を最小値 1 から最大値 9 まで 1 刻みで変動させた場合の選定時間を比較する。ここで、候補数 N の最大値の 9 は、OSU 数と同じであり、OSU と接続される所内 SP が搭載される CR 数 n_1 となる。計算結果の総選定時間比較を図 4-16 に示す。本結果より、 $N = 1 \sim 9$ の中で、選定時間を最小にする候補数は $N = 5$ の時であることが確認できる。補足として、図 4-16 において $N = 4$ の時に γ が上がっている。理由は、 γ を構成する P^\wedge と N がある。 P^\wedge は P/N の少数点以下を繰り上げとなるため、 N が大きくなることで小さくなる。対して、 N は候補数が大きくなることで大きくなる特性を持つ。 $N=1 \sim 3$ までは P^\wedge が減少しているため、 N が増加してもほぼ変化がない。 $N = 4$ のとき、 P^\wedge の値は $N = 3$ のときと変わらないため、 N が大きくなったことで γ の値が増加する。 $N \geq 5$ では、 $P^\wedge = 1$ なので、 N に依存して単調増加になっている。

本設定のもと、 $N=5$ で最小値となることは、理論的に示せる。

定理： $\delta \leq \varphi + \varepsilon' + \delta'$ のとき、 $N = R(P)$ で選定時間が最小となる。

証明： $k = 1 \dots R(P)$ に対して、 $N_k = \min \left\{ N \mid R\left(\frac{P}{N}\right) = k \right\}$ とする。 $\delta \times P^\wedge \times N$ の項があるため、

最小値は、 $\{N_k \mid k = 1 \dots R(P)\}$ にある。

$N_{k^*} = R(P)$ のとき、 $k^* = 1$ 、 $k \neq k^*$ に対し、

$$R\left(\frac{P}{N_k}\right) \geq R\left(\frac{P}{N_{k^*}}\right) + 1$$

$$N_k \geq 1, N_{k^*} = R(P) < P + 1$$

N_k と N_{k^*} の選定時間の差は、

$$\begin{aligned} & (\varphi + \varepsilon' + \delta') \left(R\left(\frac{P}{N_k}\right) - R\left(\frac{P}{N_{k^*}}\right) \right) + \delta \left(R\left(\frac{P}{N_k}\right) \cdot N_k - R\left(\frac{P}{N_{k^*}}\right) \cdot N_{k^*} \right) \\ & > \varphi + \varepsilon' + \delta' + \delta \left(\frac{P}{N_k} \cdot N_k - 1 \cdot (P + 1) \right) = \varphi + \varepsilon' + \delta' - \delta \geq 0 \end{aligned}$$

次に、OSU 数増加における候補数 N 毎の選定時間推移を図 4-17 に示す。本結果は、OLT-D からの候補数 (N) を既存手法の $N = 1$ の場合、 $N = ALL(=n1)$ の場合、 $N =$ 提案手法の場合で、OSU 数 (w) の増加に伴った選定時間の結果となる。比較を簡易にするため、選定回数は P を使い、各候補数での総選定時間を算出した。 $N = 1$ の場合、選定回数は最小となるが送受信回数が多くかかるため、結果的に総選定時間が最も長くなる。 $N = ALL(=n1)$ の場合、送受信回数が最小となるが選定回数も多くかかるため、結果的に総選定時間が 2 番目に長くなる。最後に $N =$ 提案手法の場合、選定回数と送受信回数が最適化されているため、総選定時間が最も短くなる。候補数 (N) を最適化した場合、OSU 数 (w) 増加に伴って候補数 (N) が 1 もしくは $ALL(=n1)$ であった場合よりも短時間で選定が完了するといえる。

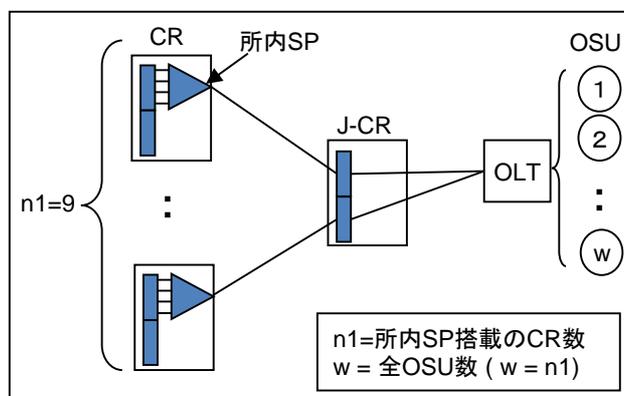


図 4-15 : 計算用の設備構成

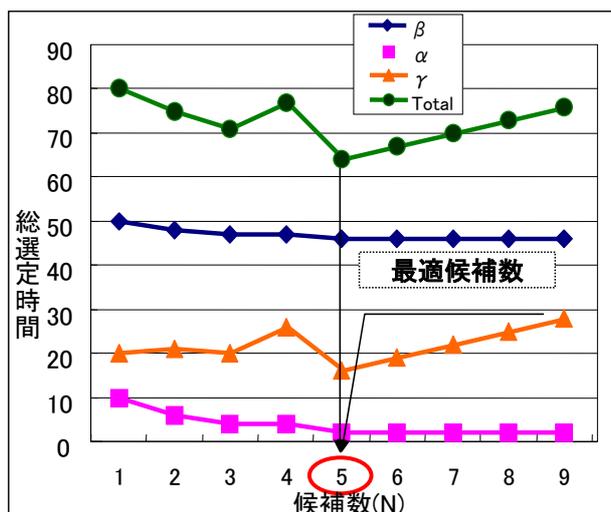


図 4-16 : 計算結果

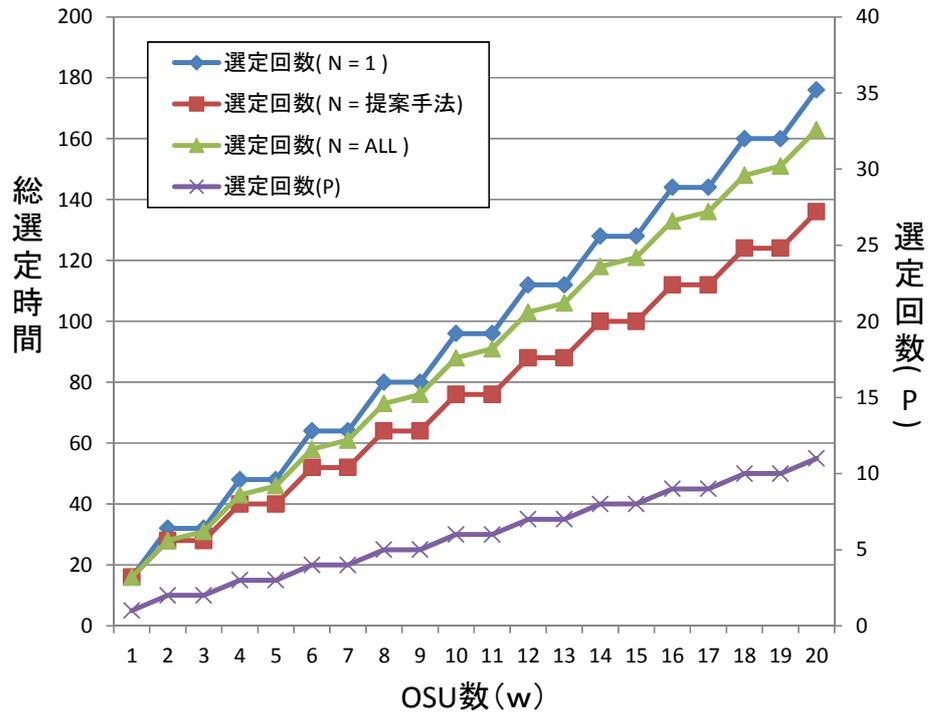


図 4-17 : 選定時間推移

4-1-5 : 選定処理量の考察

本節における目標は、需要増加に伴う Type2 の選定時間削減とした。また前節において、最適候補数を利用する事で選定時間削減を実現することを示した。ここで、Type2 における選定時間の削減率を確認する。前提として OSU 数 (w) の総数は固定とし、 $w=20$ とする。次に、1 回の需要において発生する選定時間は、前節で用いた候補数 1 を既存手法として提案手法と選定時間を比較する。この前提を基にシミュレーションを実施し、既存の選定アルゴリズムと提案した選定アルゴリズムとで選定時間を比較した結果を図 4-18 に示す。図に示すように、既存の選定アルゴリズムよりも、選定候補数を最適化した場合には約 29% の時間削減が可能になったことが確認できた。

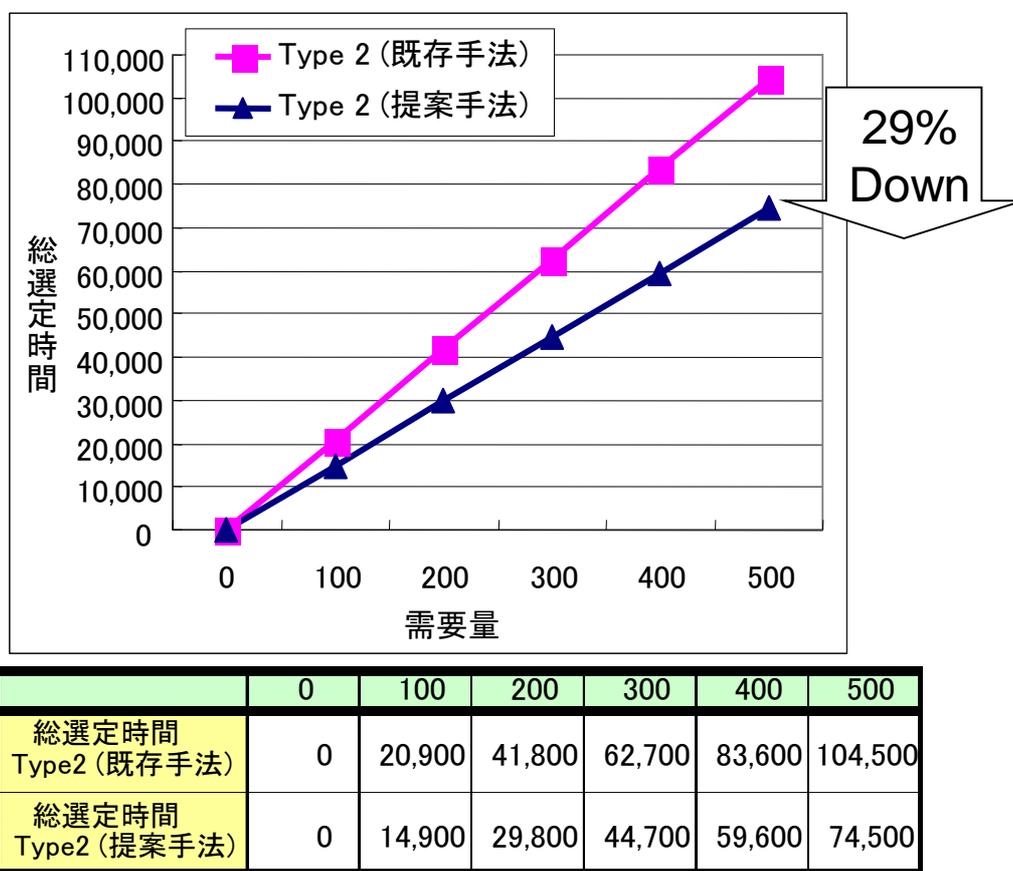


図 4-18 : 提案手法の最終的評価

4-2：市場安定期でのアクセスネットワークでの論理情報を加味

した選定

4-2-1：序文

市場拡大期では、1心の光ファイバで伝送できる最大帯域が少なかったため、常時広帯域が必要な映像配信サービスを提供する時には、1心の光ファイバを1人のユーザで占有するSSサービスとして提供していた。また、そのユーザが使う帯域を確保できるギャランティ型サービスとして提供していた。しかし、SSシステムは光ファイバ1心で1人しか提供できないため、値段も高価であった。そのため、1心の光ファイバを複数ユーザで共有し、低廉な価格で提供できるPONサービスが主流となった。通信会社は、更に低廉な価格で提供するために、帯域が空いていれば使えるベストエフォート型サービスとして提供した。その結果、通信会社で使用する選定アルゴリズムは、設備の収容率の向上を重視していた。

需要安定期に入り、OANのPONサービスは、Next Generation Network（以下NGN）の導入により、ベストエフォート型サービスだけではなく、ユーザへ最低帯域を保証するギャランティ型サービスが増加傾向にある。そのため、PONサービスの場合、ベストエフォート型サービスとギャランティ型サービスが、1心の光ファイバで混在するケースが増えている。本状況での既存選定アルゴリズムの課題は、収容時の使用可能帯域（共有帯域）に課題が生じる（図4-19）。PONサービスではOANでの最上位に位置するSW内のSW-Cの最大帯域値と、収容されている全ユーザの最低保証帯域累計の差分が、各ユーザで使用可能な共有帯域となる。需要黎明期～拡大期では、ギャランティ型サービスの種類も少なく、最低保証帯域の累計は微少であった。そのため、SW-Cの占める最低保証帯域累計も同じく微少であり、SW-Cの共有帯域は十分に確保されていた（図4-19「①現状の収容」）。しかし、近年になりギャランティ型サービスが増加した場合、SW-Cの最低保証帯域累計も増加し、SW-Cの共有帯域は減少する（図4-19「②今後の収容」）。

このように、SW-Cに収容されているベストエフォート型サービスを契約しているユーザは、共有帯域が減少すると自分が使える帯域（使用可能帯域）が減少する。このような状況は、帯域不足による遅延時間の増加によるQuality of Service（以下QoS）低下が想定される。更には、著しく共有帯域が減少した場合、該当ユーザを共有帯域が確保可能な別SW-Cへの収容替えが必要となる。そのため、ギャランティ型サービスが増加した場合でも、SW-Cの共有帯域を確保できる選定アルゴリズムが課題となる。

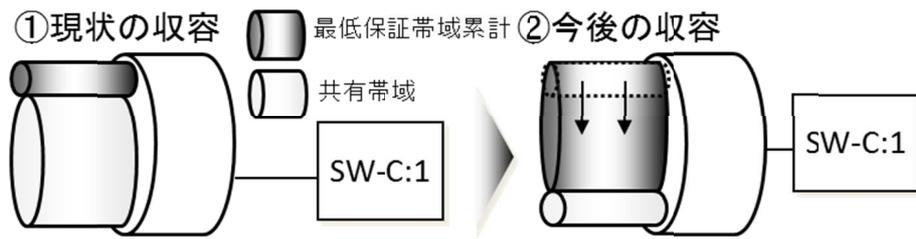


図 4-19 : OAN における収容サービス動向

4-2-2 : アクセスネットワークへの論理情報に対する課題

市場安定期の OAN の設備管理構成を図 4-20 に示す。設備管理方針が異なる 4 つの設備管理区分で構成される点は前節と変わらないが、市場拡大期と安定期で大きな違いがある。OAN におけるアクセスルート（以下ルート）は、エリアごとにある所外 SP から OSU を経由して SW-C までのルートがある。図 4-20 の既設ルートは、所外 SP1~SW-C:1, 所外 SP2~SW-C:1 がある。安定期での選定後の開通工事は、拡大期のように各設備管理区分で新規開通工事ではなく、新設需要が発生した 2 つのルートの所外 SP へ ONU 接続工事可否（収容可否）で判断することが多い。上記ルートで共に収容不可の場合は、新規ルートの増設となり、拡大期のように各設備管理区分で選定後に新規開通工事を実施する。

OAN での PON システムの既存選定アルゴリズムの選定フロー(収容設計手順)を図 4-21 に示す。この方法では、まずオーダ種別(新設/廃止)を確認する。廃止であれば、各設備管理区分にて廃止処理が実施される。新設であれば、需要が発生したエリアの所外 SP の収容状況を確認する。エリア内に収容可能な所外 SP が無い場合(a)は、各設備管理区分で増設工事が a1~a4 の手順で必要となり、4-1 章で示した市場拡大期の選定フローとなる。本節の市場安定期での選定フローは、図 4-20 の需要①が発生した場合を説明する。オーダ種別が新設なので、需要が発生したエリアの所外 SP の収容状況を確認する。収容可能な所外 SP が有るとすると、下記のように収容設計方法によりルート選択が実施される。

- (b1) 所外 SP~SW-C までのルート(1...N)を探索する。需要①の場合は所外 SP が 2 つのみなので N=2 となる。
- (b2) b1 で得られた探索ルート(1...N)への収容可否を判断する。所外 SP1~SW-C:1 ルート、所外 SP2~SW-C:1 ルートについて、需要①の収容可否を各設備管理区分で確認する。
- (b3) b2 の収容可否を判断したルート数(N)を確認する。
- (b4) b3 の確認結果に基づき、収容可能ルート(1...K)を取得する。需要①は各設備管理区分にて収容可能であれば、K=2 となる。
- (b5) b4 までの結果から、収容可能ルートの候補有無を確認する。
候補無しの場合：a の場合として処理される。
候補有りの場合：収容処理を実施する。
- (b6) 優先順位が高いルートへ収容する。

上記収容設計手順より抽出された複数の収容可能ルートの中から、優先順位の高いルートを選定する。既存選定アルゴリズムの収容設計方法では、収容率の向上を重視し、収容可能ルートのうち、最も若番(OSU の建設年度が古い設備)のルートを優先して収容している。この方法では、ギャランティ型サービスのユーザ数が増加した場合に共有帯域が減少し QoS が悪化するという問題が生じる。既存収容設計方法に生じるこの問題を確認するため、数値例を示す。前提条件として以下 4 つを仮定する。

- ・ 提供サービスは(A)(B)の 2 種類あり、サービス(B)は NGN の導入によって最低保証帯域が増加したサービスとする

- ・ サービス(A)の最低保証帯域は 10Mbps, サービス(B)の最低保証帯域は 100Mbps である
- ・ SW-C の最大帯域は 1Gbps である
- ・ 需要発生時は全 SW-C が収容候補である

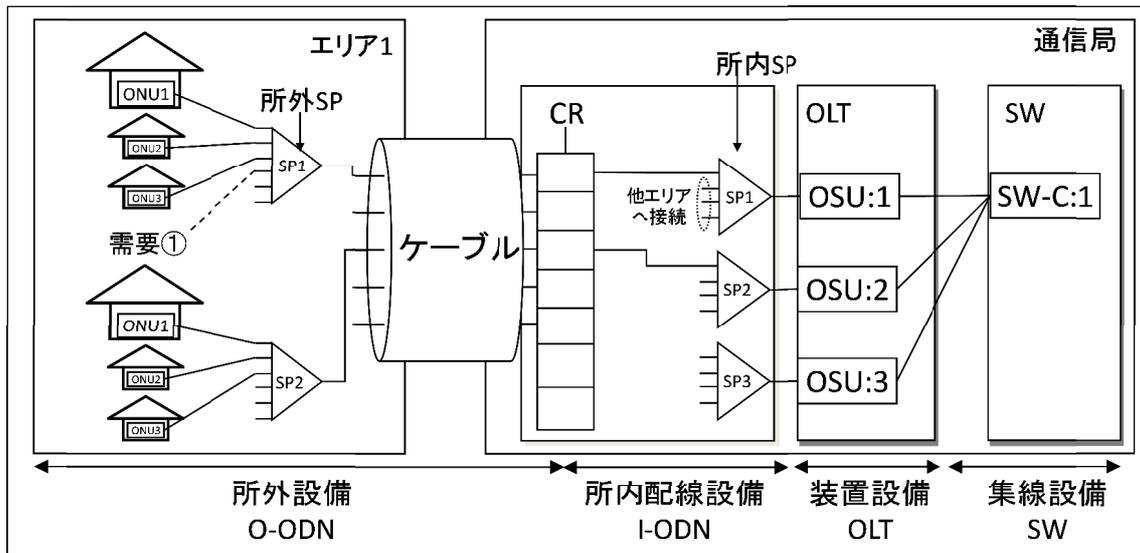
数値例は, 既存収容設計方法を用いたサービス(A)のみが提供された収容状態と, サービス(A)に加えてサービス(B)が提供された収容状態を作成する. そして, 両収容状態における, 各 OSU の共有帯域の偏りを比較する. ユーザの設定は以下の通りである.

- ①各 SW-C にて A サービスの新設が 32 ユーザ発生
- ②各 SW-C にて A サービスの廃止が 8 ユーザ発生
- ⇒③-1 : A サービスの新規需要が 10 ユーザ発生
- ⇒③-2 : B サービスの新規需要が 10 ユーザ発生

①は SW-C に A サービスが新規に収容されることを指している. ②は, 競争激化により, ユーザが他社のサービスに乗り換えるため, サービスが廃止されることを指している. 手順③-1 は, 通信会社の地道な営業により, 新規に A サービスが収容されるケースを想定している. 対して, 手順③-2 は, 通信会社によってギャランティ型サービスとして B サービスが開発され, A サービスと混在収容されるケースを想定している.

計算結果を図 4-22 に示す. ③-1 と③-2 の収容結果から, 両者の共有帯域を比較する. ③-2 ではギャランティ型サービスのユーザ数を増加させたため, ③-1 の収容結果と比較して共有帯域の偏り(分散)が大きいことが分かる. このように, OAN ではギャランティ型サービスのユーザが増加した場合, SW-C 毎の共有帯域を十分に確保できないケースがありえるといえる.

以上の検討から, ギャランティ型サービスを考慮した優先度を見直した収容設計方法と, その収容設計方法を踏まえた選定フロー(収容設計手順)の検討が必要であるといえる. そこで, 本論文はギャランティ型サービスの提供ユーザ数が増加しても, アクセスルートごとの共有帯域を確保できる収容設計方法と収容設計手順(合わせて設備選定アルゴリズム)を検討する.



SP: Splitter
ONU: Optical Network Unit

OLT: Optical Line Terminal
OSU: Optical Subscriber Unit

SW: Switch
SW-C: Switch Card

図 4-20 : 安定期の光アクセスネットワークの構成

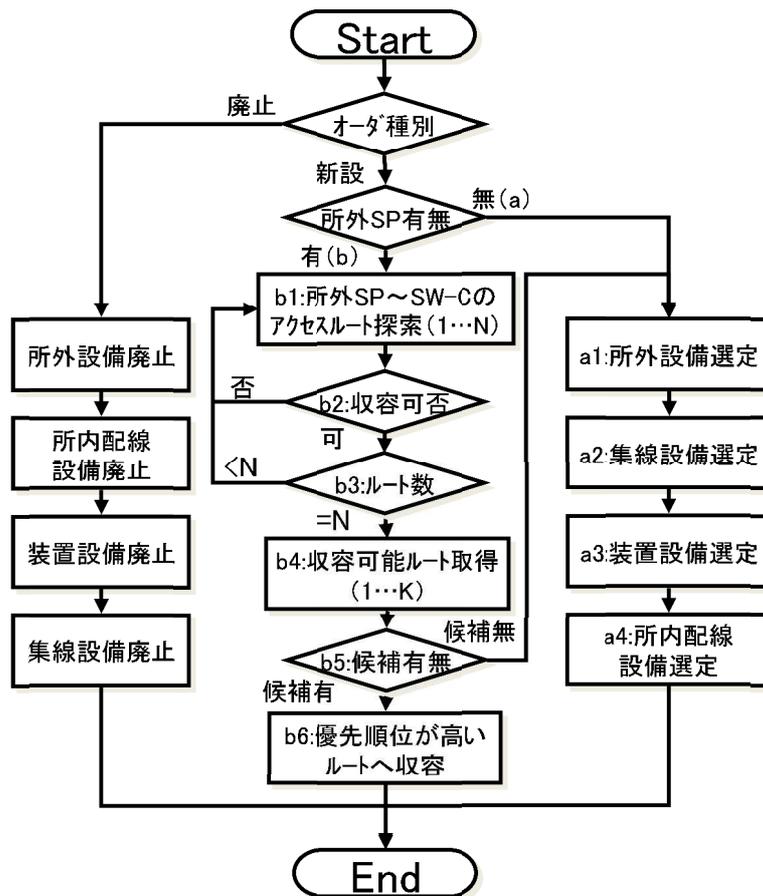
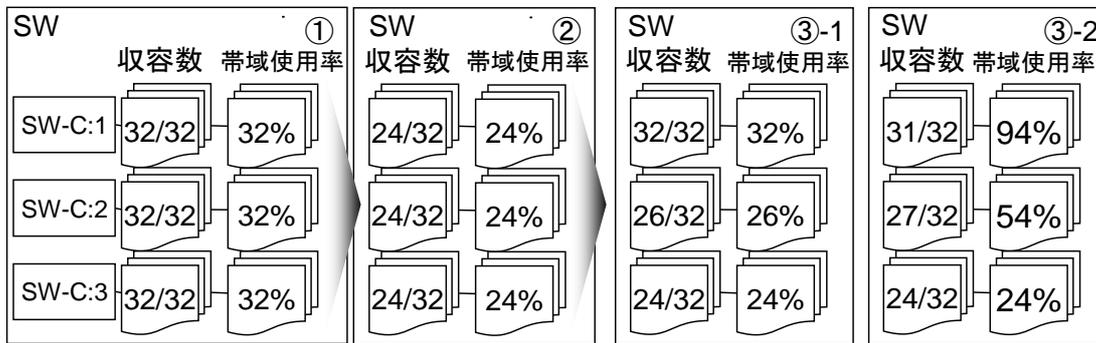


図 4-21 : OAN での設備選定



		収容数	帯域 使用率	共有 帯域	共有帯域 の偏り(分散)
③-1 Aサービス 収容結果	SW-C:1	32	32%	680M	59
	SW-C:2	26	26%	740M	
	SW-C:3	24	24%	760M	
③-2 ABサービス 収容結果	SW-C:1	31	94%	60M	719
	SW-C:2	27	54%	460M	
	SW-C:3	24	24%	760M	

図 4-22 : PON システムへの収容時の課題

4-2-3：提案する収容設計手法

PON サービスの収容設計に必要な帯域種類として、最低保証帯域と平均使用帯域がある。最低保証帯域とは、通信会社がサービス提供時にユーザに保証した帯域値であり、サービスを提供する上で最低限必要な帯域をいう。対して平均使用帯域とは、ユーザが平均的に使用する帯域を言い、ユーザが日常使用する帯域のため、ユーザ個々に変動する。

SW-C 内の最低保証帯域累計は、ユーザに保証した帯域値の合計値ため、考慮は必須となる。SW-C 内の平均使用帯域累計は、ユーザが日常使用する帯域の合計値となる。例えば、図 4-23 に示すように、最低保証帯域累計が同値の SW-C1, 2 において、

- SW-C1：最低保証帯域累計は 70%で、平均使用帯域累計は 30%
- SW-C2：最低保証帯域累計は 70%で、平均使用帯域累計は 90%

となった場合、新規ユーザを収容すべき SW-C は、現時点では 1 ユーザ当たりの空き帯域が多い SW-C1 といえる。このことから同じ最低保証帯域累計であるが、サービスごとに規定されている最低保証帯域累計と共に、実際の使用帯域である平均使用帯域累計の考慮が必要といえる。

次に、収容数 (X) と最低保証帯域 (Y) の関係について検討する。最大帯域を 1000M とする SW-C に、最低保証帯域が小さい(8Mbps)サービスのみを収容した場合の関係 (Type-1 : $Y = 8M \cdot X$)と、最低保証帯域が大きい(100Mbps)サービスのみを収容した場合の関係 (Type-2 : $Y = 100M \cdot X$)を比較する (図 4-24)。

- ・ Type-1：最低保証帯域値が小さいので、最大収容可能数のユーザを収容することが可能となり、収容率は高くなるが、最終的に最低保証帯域累計が SW-C 帯域の上限を下回るため、帯域の使用効率は低い。
- ・ Type-2：最低保証帯域値が大きいので、最大収容可能数のユーザを収容することが不可能となり、収容率は低くなるが、最終的に最低保証帯域累計が SW-C 帯域の上限値に近づくため、帯域の使用効率は高い。

以上から、収容数、最低保証帯域累計の両方が収容制限に影響することが分かる。また、収容数と最低保証帯域累計が、どちらか一方で収容制限となり、それ以上収容不可になるわけではなく、同時に最大値に辿り着くことが理想であることがいえる。

さらに、最低保証帯域 (Y) と平均使用帯域 (Z) の関係について検討する。1つのサービスの最低保証帯域を a 、平均使用帯域を b とすると、収容数 (X) も含めた関係は $Y = a \cdot X$ 、 $Z = b \cdot X$ となり、 $Z = b \cdot (Y/a)$ の式で表すことができる。1つの SW-C に最低保証帯域 $a = 20\text{Mbps}$ 、平均使用帯域 $b = 60\text{Mbps}$ というユーザのみを収容した場合の関係 (Type-A : $Z = 60 \cdot (Y/20)$)と、最低保証帯域 $a = 60\text{Mbps}$ 、平均使用帯域 $b = 20\text{Mbps}$ というサービスのみを収容した場合の関係 (Type-B : $Z = 20 \cdot (Y/60)$)を図 4-25 にて比較する。

- ・ Type-A：平均使用帯域が大きく、SW-C の平均使用帯域累計が先に SW-C 帯域の上限に達するため、最終的な最低保証帯域累計は SW-C 帯域の上限を下回る。実効的な帯域の使用効率は高いが、サービス規約上で最低限確保すべき帯域の使用効

率は低く、通信会社にとって非効率となる。

- ・ **Type-B** : 最低保証帯域が大きく、SW-C の最低保証帯域累計が先に SW-C 帯域の上限に達するため、最終的な平均使用帯域累計は SW-C 帯域の上限を下回る。サービス規約上で最低限確保すべき帯域の使用効率は高いが、実効的な帯域の使用効率は低く、結果的に常時帯域が余った状態となる。

以上から、各サービスの最低保証帯域と平均使用帯域の値によって、どちらも収容制限に影響しうることが分かる。そこで、平均使用帯域累計と最低保証帯域累計が、どちらか一方で収容制限となり、それ以上収容不可になるわけではなく、最大値に同時に辿り着くことが理想であることがいえる。

最後に、平均使用帯域(Z)と収容数(X)の関係について検討する。1つのSW-Cに平均使用帯域が小さい(8Mbps)サービスのみを収容した場合の関係(**Type-①**) : $Z = 8M \cdot X$ と、平均使用帯域が大きい(100Mbps)サービスのみを収容した場合の関係(**Type-②**) : $Z = 100M \cdot X$ を図4-26にて比較する。

- ・ **Type-①** : 平均使用帯域値が小さいので、最大収容可能数のユーザを収容することが可能となり、収容率が高くなるが、最終的に平均使用帯域累計が SW-C 帯域の上限を下回るため、帯域の使用効率は低い。
- ・ **Type-②** : 平均使用帯域値が大きいので、最大収容可能数のユーザを収容することが不可能となり、収容率が低くなるが、最終的に平均使用帯域累計が SW-C 帯域の上限値に近づくため、帯域の使用効率は高い。

以上から、平均使用帯域累計、収容数の両方が収容制限に影響することが分かる。そこで、収容数と平均使用帯域累計が、どちらか一方で収容制限となり、それ以上収容不可になるわけではなく、最大値に同時に辿り着くことが理想であることがいえる。

以上の3つの考察から、収容数、最低保証帯域累計、平均使用帯域累計の関係は、それぞれのパラメータが同時に最大値に辿り着くことが理想であることが分かる。これら3つの結果(図4-24 / 図4-25 / 図4-26)を総合すると、図4-27のような3次元での評価となる。すなわち、収容数、最低保証帯域累計、平均使用帯域累計の3つのパラメータが同時に最大値に辿り着くことが理想といえる。つまり、理想的な収容状態とは、1つのパラメータだけが極端に増えた状態ではなく、3つのパラメータが徐々に増えていき、最終的に同時に最大値に辿り着くような状態である。また、3つのパラメータの重みづけについては、パラメータの特性によって判断する。今回の3つのパラメータは、収容数に依存して増減するパラメータであり、収容数(X)が多ければ、最低保証帯域(Y)と平均使用帯域(Z)も多くなっていく可能性がある。そのため、どれかのパラメータだけに重みを付けることが不適当と思われるため、本論文は3つのパラメータの重みづけは考慮しないこととする。

以上のことから、SW-Cの収容目標は、収容数と最低保証帯域累計と平均使用帯域累計の最小値(0, 0, 0)から最大値(X_{max} , Y_{max} , Z_{max})の対角線を理想線として、収容時には3つのパラメータが理想線に近似するように収容することが理想的な設備選定となる。提案

する収容設計方法について図 4-28 にて説明する。選定候補である n 個の SW-C に対して、収容数と最低保証帯域累計と平均使用帯域累計の理想線と収容点との距離 L が最小となる SW-C を決定する収容設計方法について提案する。

(1)理想点の算出

該当 SW-C における収容可能な最大 ONU 数(X_{Max})と最低保証帯域 Y と平均使用帯域 Z の最大帯域(Y_{Max}, Z_{Max})から、1つの ONU に割り当てられる帯域($Y_{Max}/X_{Max}, Z_{Max}/X_{Max}$)を算出する。次に収容予定の ONU 数($X_n + 1$)と、1つの ONU に割り当てられる帯域($Y_{Max}/X_{Max}, Z_{Max}/X_{Max}$)で ONU 数(X_t), 最低保証帯域累計(Y_t), 平均使用帯域累計(Z_t)が、以下の算出式で理想点として算出する。

$$(X_t, Y_t, Z_t) = (X_n + 1, (X_n + 1) \cdot Y_{Max}/X_{Max}, (X_n + 1) \cdot Z_{Max}/X_{Max})$$

(2)予想点の算出

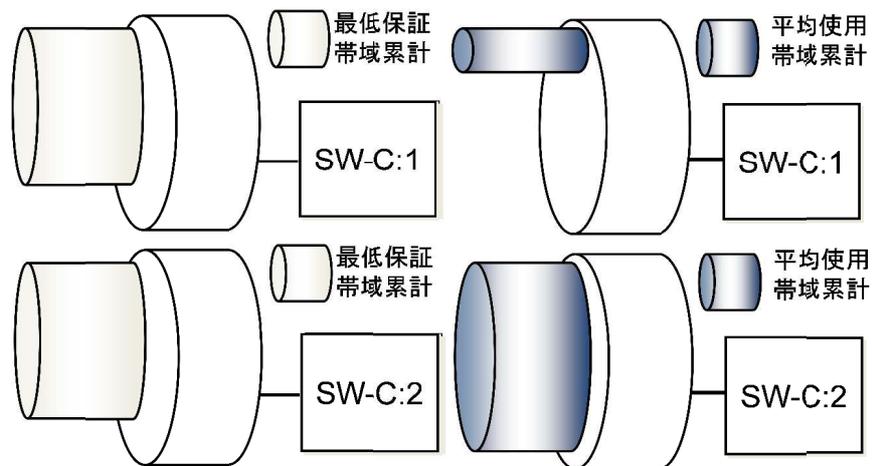
SW-C の現状の収容状態に加えて、更に 1 ユーザ追加された場合の ONU 数(X_e), 最低保証帯域累計(Y_e), 平均使用帯域累計(Z_e)を算出する。現状の ONU 数に収容予定の ONU 数を加えることで X_e は算出する。現状の最低保証帯域累計(Y_n)に収容予定のサービスの最低保証帯域(Y')を加えることで Y_e は算出する。同様に現状の平均使用帯域累計(Z_n)に収容予定のサービスの平均使用帯域(Z')を加えて Z_e は算出する。結果、以下の算出式で予想点として算出可能である。

$$(X_e, Y_e, Z_e) = (X_n + 1, Y_n + Y', Z_n + Z')$$

(3)収容 SW-C の決定

上記から算出した理想点と予想点の距離 L_{SW-C1} は、ユークリッド距離算出式を用いて算出可能である。また、 n 個の SW-C があつた場合は、各 SW-C1~SW-Cnごとのユークリッド距離計算結果 ($L_{SW-C1} \sim L_{SW-Cn}$) を得る。SW-C 候補の中からユークリッド距離が最短となる SW-C に収容する。

$$L_{SW-cn} = |(X_t, Y_t, Z_t) - (X_e, Y_e, Z_e)| = \sqrt{(X_t - X_e)^2 + (Y_t - Y_e)^2 + (Z_t - Z_e)^2} \quad (4.1)$$



	最低保証帯域累計	平均使用帯域累計
SW-C:1	70%	30%
SW-C:2	70%	90%

図 4-23 : PON システムに收容する帯域種類

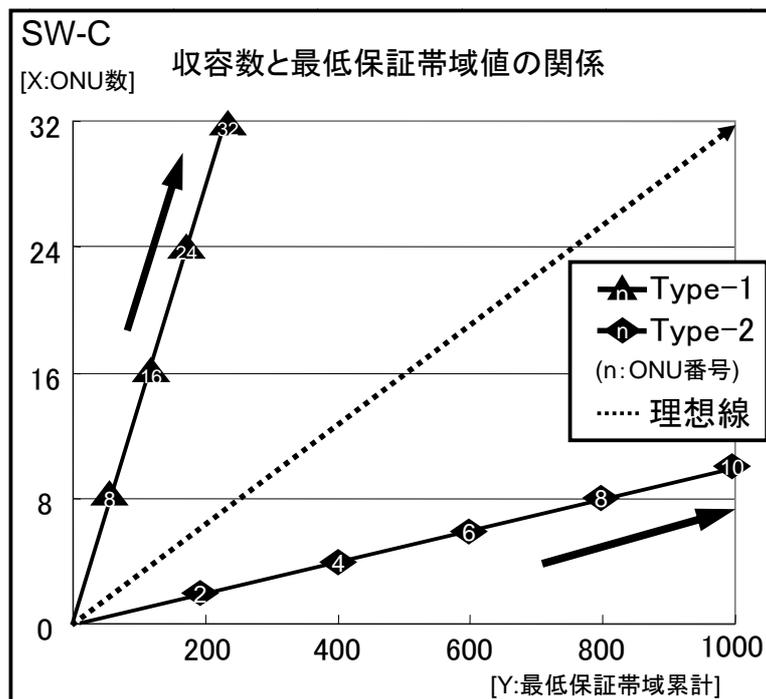


図 4-24 : 收容数と最低保証帯域累計の関係

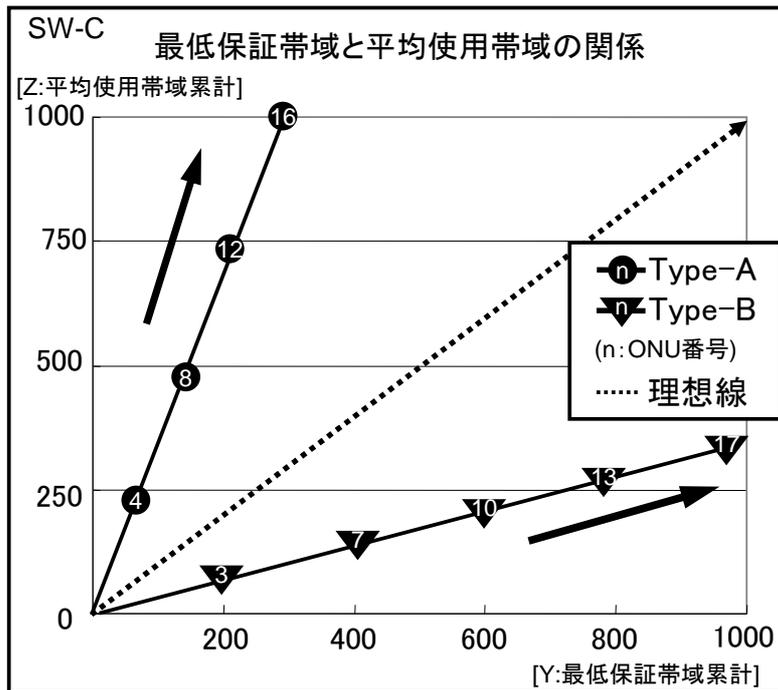


図 4-25 : 最低保証帯域累計と平均使用帯域累計の関係

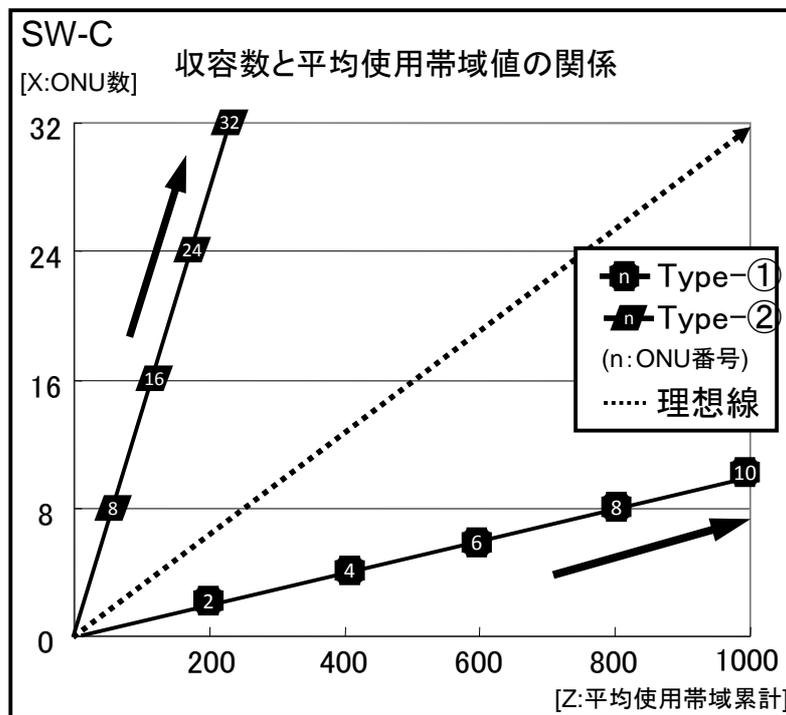


図 4-26 : 収容数と平均使用帯域累計の関係

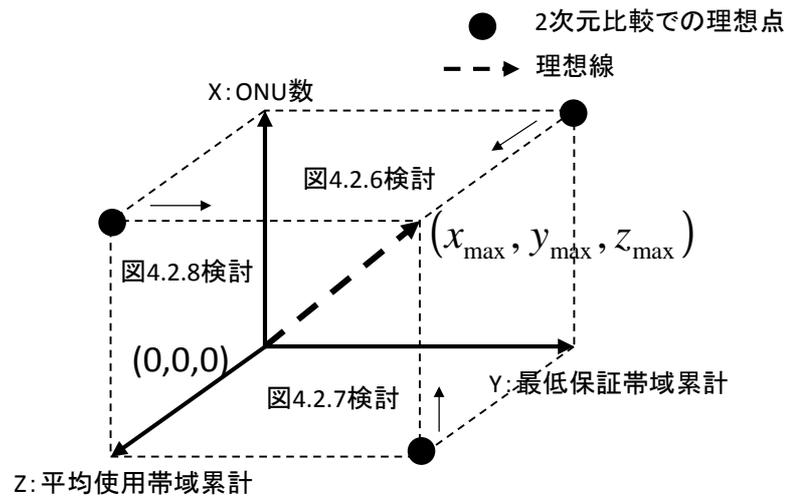


図 4-27 : 収容目標

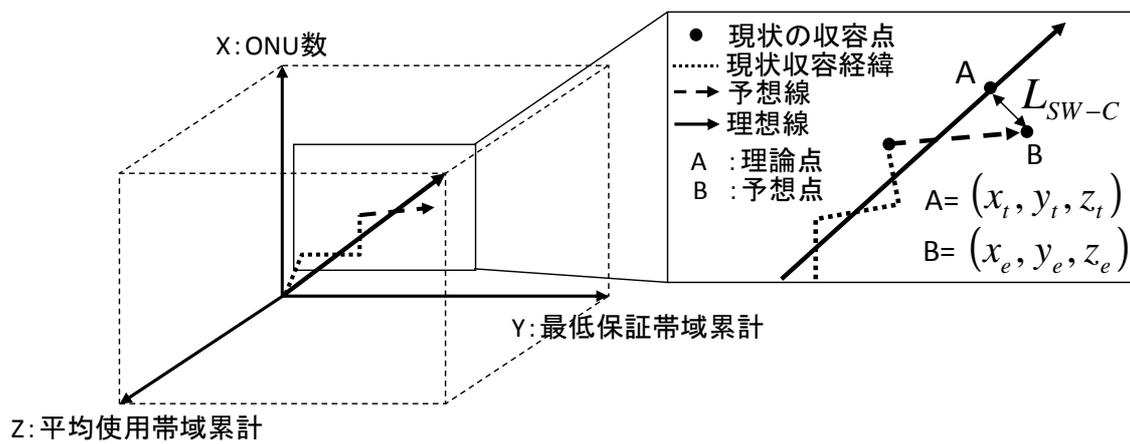


図 4-28 : 提案する収容設計方法

4-2-4：提案する収容設計手順

前節までの選定方法は SW-C を対象としているが、収容設計方法を適用する設備管理区分は SW-C のみとは限らない。ルートにおける考慮すべき帯域情報（最低保証帯域、平均使用帯域）を、設備管理区分ごとに図 4-29 に示す。本図では、2 つのルートが存在する。ルート 1(ONU1/4~SW-C)と、ルート 2(ONU5/8~SW-C)である。この場合、SW-C はルート 1 の帯域情報(A)と、ルート 2 の帯域情報(B)を保持している。各ルートは所外/所内 SP にて分岐され、1 つの SW-C と複数の ONU にて構成される。この時、帯域情報は PON 技術にて伝送されるため、1 つのルートの装置設備、所内配線設備、所外設備は共に同じ帯域情報(ルート 1 は A, ルート 2 は B)である。このことから、提案する収容設計方法を適用すべき設備管理区分は、集線設備、装置設備の 2 つで十分であることが分かる。装置設備に対する提案する収容設計方法とは、SW-C 同様に理想点と予想点の距離 L_{OSU1} は、ユークリッド距離算出式を用いて算出可能である。また、n 個の OSU があつた場合は、各 OSU1~OSUn ごとのユークリッド距離計算結果 ($L_{OSU1} \sim L_{OSUn}$) を得る。OSU 候補の中からユークリッド距離が最短となる OSU に収容する。

$$L_{OSUn} = |(X_t, Y_t, Z_t) - (X_e, Y_e, Z_e)| = \sqrt{(X_t - X_e)^2 + (Y_t - Y_e)^2 + (Z_t - Z_e)^2} \quad (4.2)$$

提案する収容設計方法の集線設備、装置設備への適用要否について数値例にて検討する。数値例で対象とする構成を図 4-30 に示す。提案する収容設計方法の適用有無によって、パターン(P1~3)分けを行なう。同じエリアに接続される SW-C が 2 つ設置され(SW-C1, 2), 1 つの SW-C 配下には 2 つの OSU が設置されるケースを想定する。A サービス (最低保証帯域:60Mbps), B サービス (最低保証帯域:3Mbps) を用意し、A サービスと B サービスの発生確率を 3:1 で、乱数でさせる。提案する収容設計方法の適用有無によって、パターン(P1~3)分けを行ない比較する。P1 は装置設備の OSU のみに提案する収容設計方法を適用する。P3 は集線設備の SW-C のみに適用する。P2 は装置設備の OSU と集線設備の SW-C 双方に適用する。ここで、いずれのパターンでも収容設計手順は集線設備、装置設備の順とする。上記パターンにて OSU 及び SW-C の共有帯域の偏り(分散)について比較する。なお、パターンごとの比較については収容数と最低保証帯域累計の関係について比較するが、平均使用帯域累計を使つての比較でも結果は同等となる。

集線設備への収容結果を図 4-31 に示す。P1 では、集線設備については既存の収容設計方法が適用されるので、SW-C1 から順に SW-C2 へ収容するため、SW-C2 の収容状況は理想線から距離がある状態になる。対して、P2, 3 の集線設備には提案する収容設計方法が適用されるため、SW-C1, 2 共に理想線から均等の距離を保持している。装置設備への収容結果を図 4-32 に示す。P3 の収容結果は既存収容設計方法が適用され、OSU1/3 から順に、OSU2/4 へ収容するため、OSU ごとに偏りが発生する。対して、P1 では提案する収容設計方法が装置設備には適用されるが、集線設備には適用されず、SW-C1 から順に SW-C2 に収容するため、同じ SW-C 配下の OSU1, 2, OSU3, 4 の中でそれぞれ偏りが発生する。

P2 は、提案する収容設計方法が装置設備、集線設備双方に適用されるため、各 OSU の収容状態が理想線に絡むように収容される。

各パターンでの収容結果を図 4-15 に示す。これまでの設備選定では、課題検討時にアクセスルートごとの共有帯域に偏りがあり、共有帯域が確保できないことが課題であることを述べた。本課題に検討は、各パターンの OSU/SW-C の共有帯域偏り(分散)について評価する。具体的には、OSU/SW-C の共有帯域の分散値が小さい方が、『共有帯域に偏りが少なく帯域の使用効率が良い』との評価となる。各パターンでの収容結果を記した表を表 4-34 に示す。P2 は、OSU/SW-C 共に共有帯域の分散値が最小となるため、帯域の使用効率が良いといえる。以上の検討を踏まえて、集線設備、装置設備の双方に提案する収容設計方法を適用した方が OSU/SW-C の帯域の使用効率が良いことが分かった。

以上の検討から、収容設計方法と収容設計手順を含めた設備選定のアルゴリズムを図 4-35 に示す。図中の点線枠が対象となり、下記のように実施される。

(b6-1) : 各 SW-C のユークリッド距離 (L_{SW-cn}) を(4.1)にて算出する。

(b6-2) : 各 OSU のユークリッド距離 (L_{OSUn}) を(4.2)にて算出する。

(b6) : L_{SW-c} が最小となる SW-C を選び、その SW-C 配下に接続されている OSU の中から、 L_{OSU} が最小となるルートへ収容する。

このプロセスにより、収容可能ルート(1...K)の中から収容設備を選定する。選定されるルートの共有帯域に偏りが無い、共有帯域を最大限確保可能な設備選定が提案できる。測定環境としては、共有帯域を最大限確保可能であると期待される。

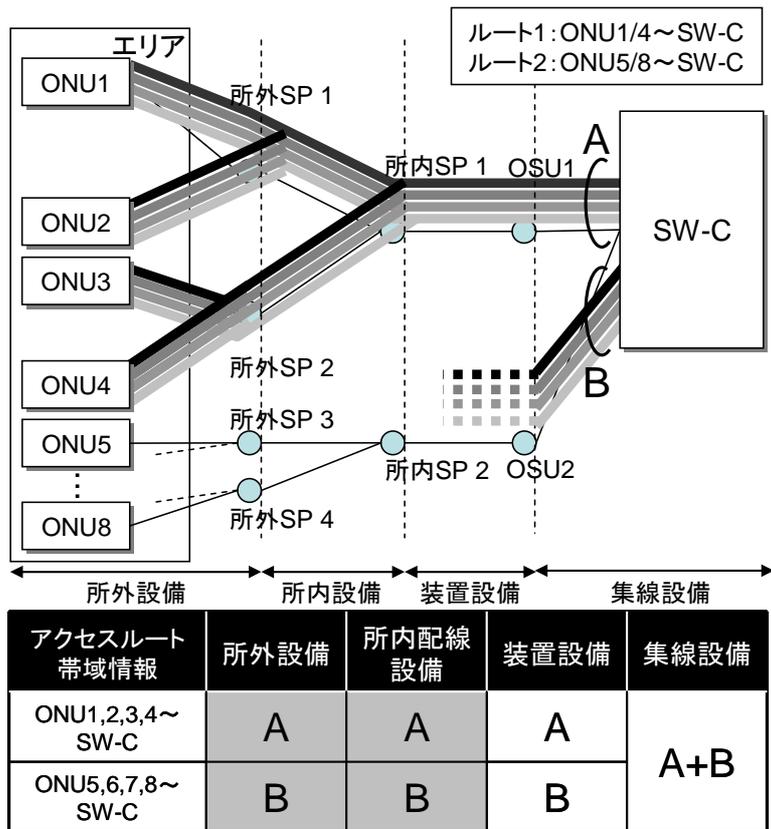
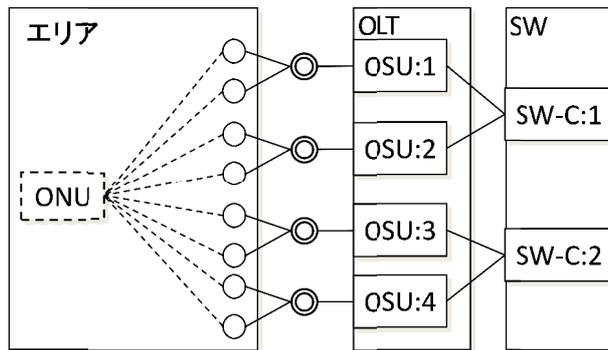


図 4-29 : OAN での帯域情報種別



○: 所外SP, ◎: 所内SP

Y: 最低保証帯域値

Aサービス	60M/ユーザ
Bサービス	3M/ユーザ
需要発生回数: 40回 発生頻度: A:B=3:1	

	装置設備	集線設備
P1	提案手法	既存手法
P2	提案手法	提案手法
P3	既存手法	提案手法

図 4-30 : シミュレーションの構成

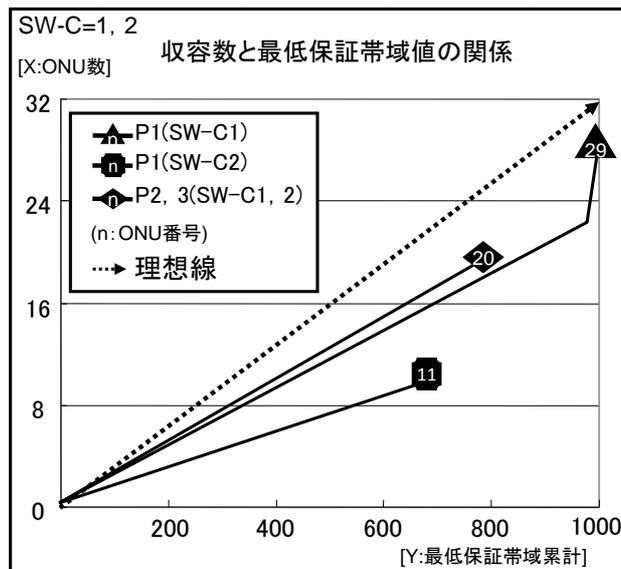


図 4-31 : SW-C の収容数と最低保証帯域累計の関係

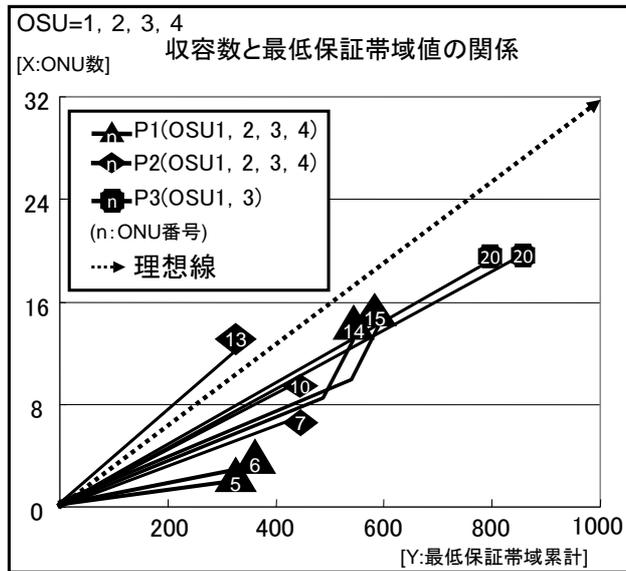


図 4-32 : OSU の收容数と最低保証帯域値累計の関係

表 4-33 : 各パターンの收容結果

	装置設備 (OSU)				集線設備 (SW-C)			結果評価	
	OSU 番号	ONU数	最低保証帯域	接続先 SWC-No	SWC No	ONU数	最低保証帯域	OSU 共有帯域分散	SW-C 共有帯域分散
P1	1	15	501	1	1	29	999	174.7	239.7
	2	14	498	1					
	3	6	360	2	2	11	660		
	4	5	300	2					
P2	1	7	420	1	1	20	801	39.7	40.3
	2	13	381	1					
	3	10	429	2	2	20	858		
	4	10	429	2					
P3	1	20	801	1	1	20	801	830.5	40.3
	2	0	0	1					
	3	20	858	2	2	20	858		
	4	0	0	2					

表 4-34 : 各パターンの收容結果比較

	装置設備	集線設備	OSU効率	SW-C効率
P1	提案手法	既存手法	中	小
P2	提案手法	提案手法	大	大
P3	既存手法	提案手法	小	大

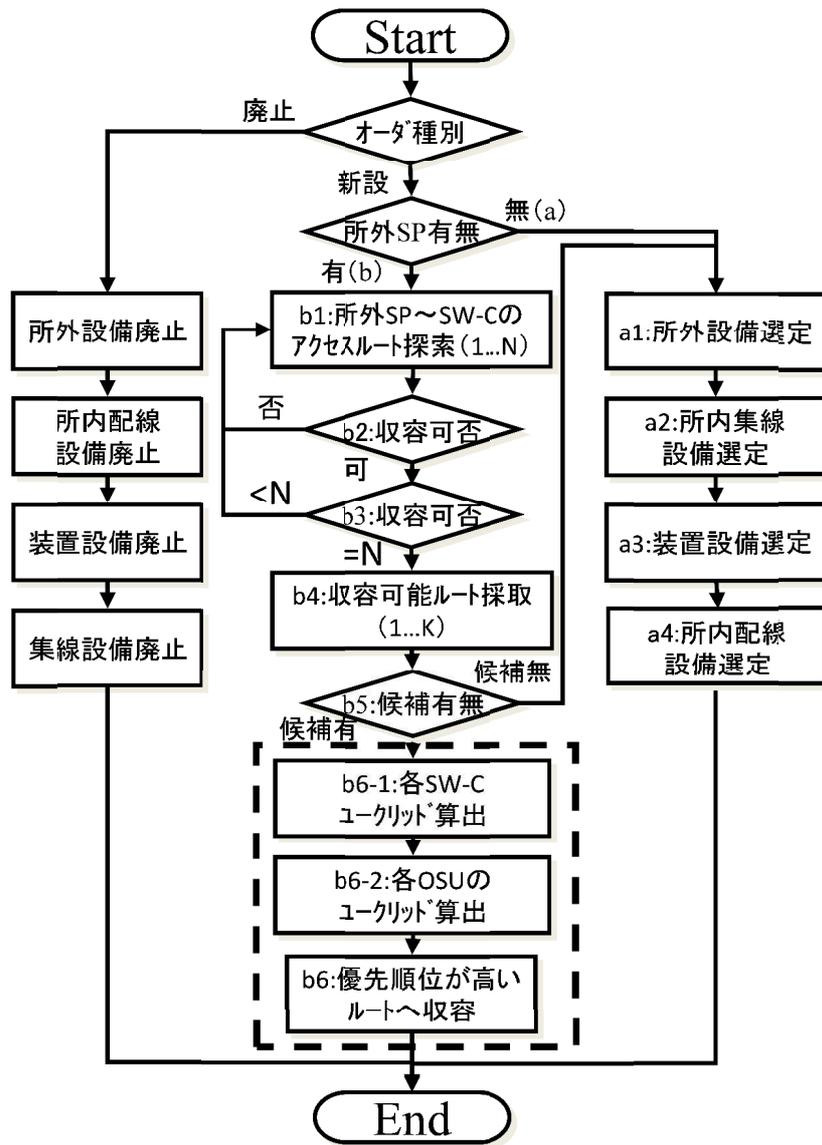


図 4-35 : 提案する収容設計手順

4-2-5：設備選定アルゴリズムの検証

提案する設備選定アルゴリズムを以下の条件にて効果測定を実施する。設備構成は図4-18に示す。

- ・設備条件：OSUの最大収容ユーザ（ONU）数は32個，最大帯域は1Gbpsとし，SW-Cの最大収容ユーザ（ONU）数は64個，最大帯域は1Gbpsとする。SW-C配下には2つのOSUが接続され，OSU配下には4つのエリアから構成される。既存SW-Cが最大収容もしくは最大帯域に至った場合は，新規SW-C及び配下の設備を増設する。
- ・サービス構成：4種類のサービス(A, B, C, D)を用意し，各サービスの最低保証帯域，平均使用帯域は固定とする。
- ・需要発生条件：新設オーダ発生条件は，各サービスのトレンドを加味するため，需要分布を図4-36のように設定する。250回線までの需要分布はDサービスが40%と高く，Aサービスは10%と低い。しかし，1000回線までの需要分布はDサービスが10%と低く，Aサービスは40%と高い。このように，D→C→B→Aの順にトレンドを変えて需要を発生させる。また，需要の発生場所には規則性がないため，需要発生エリアは，エリア1～4でランダムとする。廃止需要は，新設10回に対して1回発生するものとする。
- ・収容方法：既存収容方法は，複数ルートに収容可能であれば，その中で最も若番のSW-C/OSUに収容する。提案する収容方法は，複数ルートに収容可能であれば，その中でユークリッド距離が最短であるSW-C/OSUに収容する。

測定結果を表4-37に示す。搭載SW-CとOSU数は両方法で同等となり，収容率に差はない。一方，OSUとSW-Cの共有帯域の分散については，既存収容方法と比較して，提案する収容方法の方が小さくなることが分かった。

最終的には，本論文にて提案する設備選定を適用することで，収容率を下げることなく，共有帯域の偏り（分散）をSW-Cで5%，OSUで36%向上できることが確認できた。

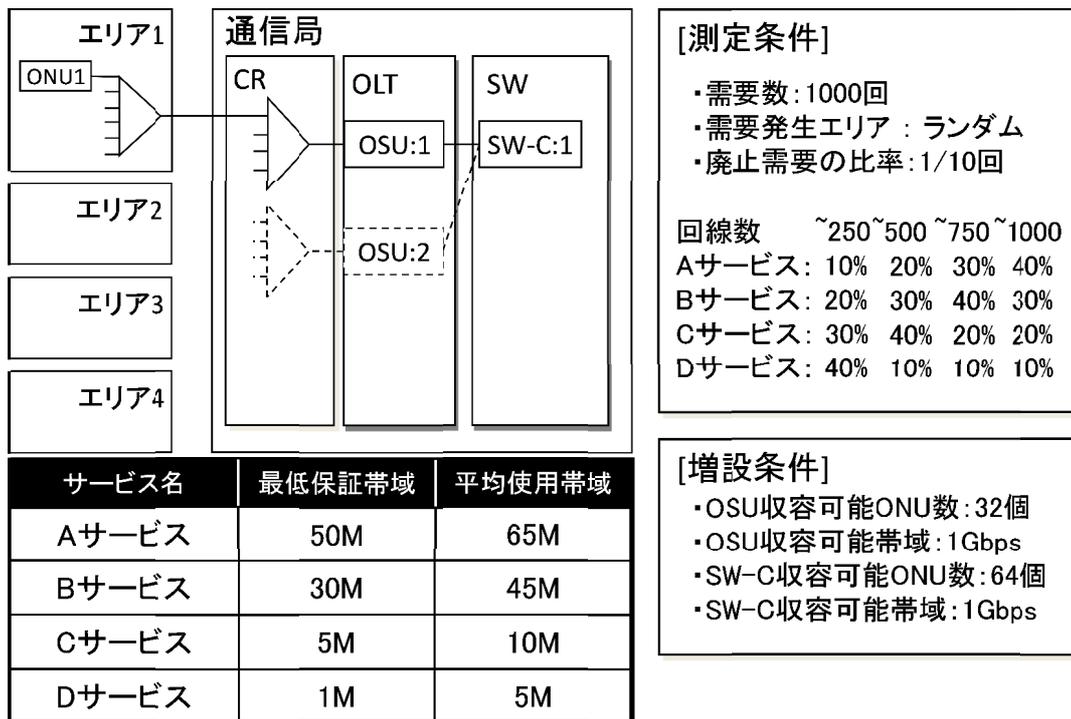


図 4-36 : 効果測定用の設備構成

表 4-37 : 効果測定結果

効果測定	提案手法	既存手法	効果
搭載OSU数	51	51	-
搭載SW-C数	26	26	-
共有帯域の分散(OSU)	1,846	2,507	36%
共有帯域の分散(SW-C)	541	571	5%

4-3：設備選定への考察

アクセスネットワークの設備選定において市場性から2つの観点から課題を抽出した。

1つ目は、市場拡大期での設備選定時の処理時間であり、通信局内の所内スプリッターの設置位置で選定時間とコストにトレードオフが発生していることを明らかにした。選定時間を低減するための選定時のOSU候補数を最適化することを検討した。選定回数の期待値から最適なOSU候補数を求めるアルゴリズムを提案し、実データを用いた計算により、ドメイン間で流通する最適な選定候補数を期待値により算出する選定アルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムは、既存アルゴリズムと比較し29%の処理時間の向上を示した。

2つ目は、市場安定期での設備選定時に考慮すべきパラメータの最適化であり、収容数、最適保証帯域、平均使用帯域のそれぞれのパラメータが、どのような遷移で収容されるべきかを検討した。収容数、最適保証帯域、平均使用帯域がバランスよく収容されるアルゴリズムを提案した。提案した選定アルゴリズム（収容設計方法、収容設計手順）を使うことで、既存の選定アルゴリズムと比較し共有帯域の偏りをSW-Cで5%、OSUで36%向上を示した。

以上から、本章での目標であったアクセスネットワークの設備選定事業の効率化が実現可能といえる。

5 章：開通後のQoS制御への研究

5-1：序文

通信会社での開通後の QoS 制御事業は、設備選定によって開通されたユーザに安定的なサービスを提供することであり、ユーザ個々の Quality of Service(以下、QoS)を制御することである。近年、通信会社では、一般ユーザ向けのブロードバンドサービス増加に加えて、ビジネスユーザに対してターゲットの拡大が必要となっている[50][51]。そのため、新しいターゲットユーザに対して通信会社は、品質を維持して更に低廉なコストで効率的に既存ネットワークへ收容する技術が重要となる。低廉なサービスを提供するためには、既存ネットワークへの收容ユーザ数を増えて低コストを実現する。ユーザを効率的に收容するためには、サービス提供可能距離、つまり通信局からユーザ宅までの距離を長延化することで、更に効率的にユーザを收容可能となる。

上記の要求条件に対して通信会社は、10Gigabit Ethernet Passive Optical Network (10G-EPON)を開発することで、ユーザ数の收容数増加[52]や收容可能距離の長延化[53]が可能となった。この技術から現在の ONU 收容台数が 32 台から 64 台になり、また收容可能距離が現状 20km から 40km に長延化できる。しかし、ユーザ数の増加 (32 台→64 台)は、上り通信時のオーバーヘッド時間が増えるため、帯域利用効率が低下する。距離の長延化 (20km→40km) は、ONU から OSU までの上り通信時の伝送時間が増え、遅延時間が増える。そこで通信会社では、QoS の劣化を防止し、品質を維持する新たな制御方法が検討されている。

本章では、設備選定による開通後の QoS 制御として、アクセスネットワーク(Optical Access Network : OAN) の動的帯域割当(Dynamic Bandwidth Allocation : DBA)の帯域割り当て時間 (DBA 周期時間) について検討を行う。まず、10G-EPON 導入後の OAN における DBA への課題と新たな要求条件を特定する。次に、特定された要求条件への課題検討と解決方法を提案する。最後に、提案アルゴリズムの適用範囲の提案と OAN 全体での効果を測定する。

5-2 : 開通後の QoS 制御への課題と対策

本節では、現状の DBA の課題から新たな要求条件を明確にする。まず、OAN の構成から本論文の検討範囲を説明する。次に、現状の帯域割当技術が採用された背景を説明する。そして、10G-EPON 導入後の DBA の課題を定量的に実証する。最後に、研究動向を踏まえて DBA への新たな要求条件を提起する。

安定期の OAN の設備構成として図 4-20 に示した。OAN は、まず通信局内にある OLT 内の Optical Subscriber Unit (OSU) より下部にある所内 SP, 所外 SP で、1 心の光ファイバを複数心に分岐し、CR, ケーブルを経由してユーザ宅の Optical Network Unit (ONU) に光ファイバが接続される。また、複数の OSU を SW で集線し、コアネットワークへ伝送する。OAN での通信には、下り通信と上り通信がある。下り通信は、単一の OSU から複数の ONU へ信号を送信する際、各 ONU の識別子である Logical Link ID (LLID) を信号に付与して送信する。各 ONU では、LLID から自分宛のデータのみを識別して受信する。対して上り通信は、複数の ONU から単一の OSU へ送信する信号が、衝突しないようにする仕組みが必要である。そのため通信会社は、各 ONU の信号が衝突しないように事前に各 ONU と OSU で取り決める (割り当てる)「帯域割当技術」を検討・実装している。

4 つの ONU に帯域を割り当てる例を図 5-1, 図 5-2 に示す。静的帯域割当技術の場合(図 5-1), 各 ONU から OSU への通信帯域を事前に割り当てるため、通信していない ONU2, 3 へ帯域を割り当てる場合がある。DBA の場合(図 5-2), 事前に OSU と各 ONU は送信要求帯域を確認した後に必要帯域を割り当てるため、無駄なく帯域を割り当てるのが可能である。この時、OSU から各 ONU へ送信要求帯域を依頼することや必要帯域を割り当てた結果として送信容量と送信時間を知らせるコマンドを Gate という。また各 ONU から OSU へ Gate を受けて送信したい容量を知らせるコマンドを Report という。具体的な DBA のシーケンスを図 5-3 に示す。まず OSU では、Gate1 を各 ONU へ送付して送信要求帯域を依頼する。ONU では、Gate1 を受けて ONU に溜まったバッファ量を送信要求帯域として Report2 を返す。具体的には、▼1 のタイミングで ONU_n に溜まったバッファ量を送信要求帯域として Report2 で返す。OSU では、各 ONU からの送信要求帯域を計算し、個々の ONU へデータの送信開始時間と送信許可量を Gate3 として送付する。各 ONU では、OSU から指定された量のデータを指定された時間に OSU へ送付する。この時、DBA 周期時間を Gate から次の Gate(例:Gate1~Gate3)と定義し、Gate3 を受けてから最後にデータを送付するまでの時間を伝送遅延時間(A)と定義する。上り通信の最小の伝送時間は、Report2 送付直前の▼1 のタイミングでバッファが溜まった場合であり、1 回の DBA 周期時間と伝送遅延時間(A)の和となる。また、上り通信の最大の伝送時間は、Report2 送付直後の▼2 のタイミングでバッファが溜まった場合であり、OSU まで到達するのは要求帯域を Report4 で返した後の Gate5 から Gate7 までとなるため、最大で 3 回の DBA 周期時間と伝送遅延時間(A)の和となる。以上のシーケンスを繰り返すことにより、各 ONU へ動的

に帯域を割り当てることが可能である。

ここで、10G-EPON 導入後のユーザ数 (ONU 台数) の増加, および収容可能距離 (ONU の平均距離) が長延化した場合の OAN での帯域利用効率と遅延時間の変化を図 5-4, 図 5-5 に示す。帯域利用効率とは, オーバーヘッドではなくデータ通信可能な割合である。遅延時間とは, 上り通信におけるユーザにとっての待ち時間である。DBA 検討では, 帯域利用効率が高く, 遅延時間は短くなるように検討されていた。

算出式(5.1)に i 台の ONU に対する帯域利用効率(BUE_i)を示す。具体的には, DBA 周期時間(DT)の中で全オーバーヘッド時間(AOT_i : i 台の ONU とのオーバーヘッド時間 (2.5 μ s/台))を省いた OSU と各 ONU との間でデータ通信可能な時間の割合を数式化した。

$$BUE_i = (DT - AOT_i) / DT \quad (5.1)$$

図 5-4 から帯域利用効率(BUE_i)は, ONU 台数の増加に比例してオーバーヘッド時間が増加するため, 帯域利用効率も増加することが分かる。10G-EPON の広帯域化により ONU 台数が 32 台から 64 台に増えた場合, 帯域利用効率は 84.0%から 68.0%へ減少する (15.9%減)。帯域利用効率は, ONU 台数が増えるほど帯域利用効率が低下することが分かる。

OAN での遅延時間とは, DBA に起因する送信待機時間と ONU から OSU までの伝送時間の和である。前述のように遅延時間が最小となるのは, ONU から OSU までの伝送時間が最小のケース(図 5-3:▼1)であり, 1 回の DBA 周期時間と伝送遅延時間の和となる。逆に, 遅延時間が最大となるのは, ONU から OSU までの伝送時間が最大のケース(図 5-3:▼2)であり, 3 回の DBA 周期時間と伝送遅延時間の和となる。このように, タイミングによって遅延時間は変わってくるため, 本論文での遅延時間を最小から最大までの平均値として扱う (以下, 平均遅延時間)。

算出式(5.2)に ONU の平均的な設置距離 j km に対する平均遅延時間(AL_j)を示す。2 回の DBA 周期時間(DT)と伝送遅延時間(TT_j : ONU の平均距離(j)に対する伝送時間)の和となる [17]。なお, 表示の見やすさから単位を [μ s] から [ms] に変更するため, 1000 で除算を行う。

$$AL_j = (2 \cdot DT + TT_j) / 1000 \quad (5.2)$$

図 5-5 から平均遅延時間(AL_j)は, 平均距離の増加に比例して平均遅延時間も増加する。例えば, 平均距離が 0km となった場合, 伝送遅延時間(TT_j)が 0ms となるため, 平均遅延時間は DBA 周期時間(DT=500 μ s)の 2 倍となる 1ms に収束する。OLT と ONU 間の平均距離が 20km から 40km に増えた場合, 平均遅延時間は 1.10ms から 1.20ms へと増加する。平均遅延時間が少ないほど高品質となるが, ONU 平均距離が増えるほど, 伝送遅延時間(TT_j)が増える分, 平均遅延時間が増大することが分かる。

以上から, ONU 台数や平均距離が増加することで, 帯域利用効率及び平均遅延時間が劣化する点が課題である。

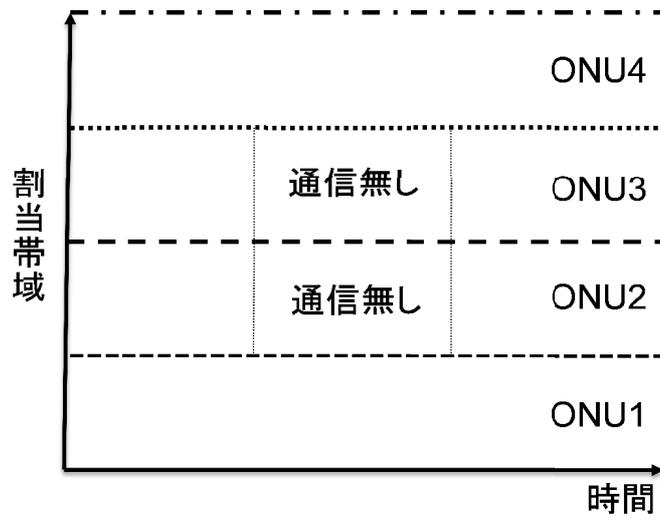


図 5-1 : 静的帯域割当技術

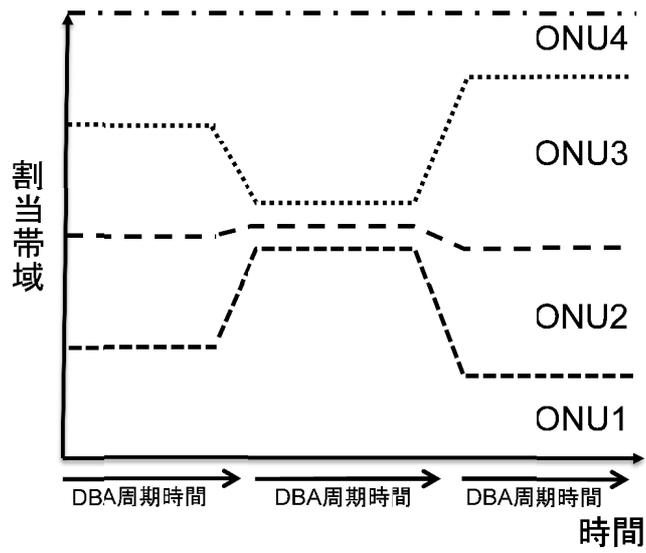


図 5-2 : 動的帯域割当技術

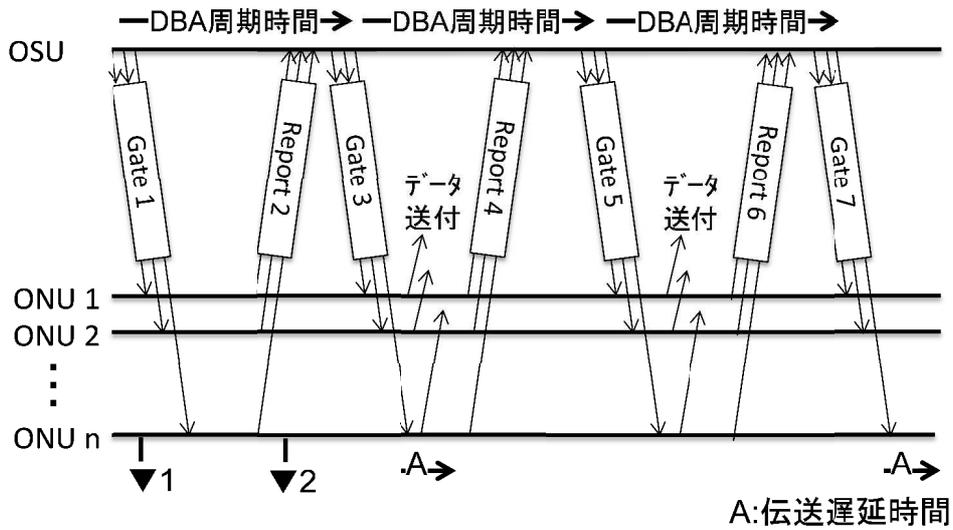
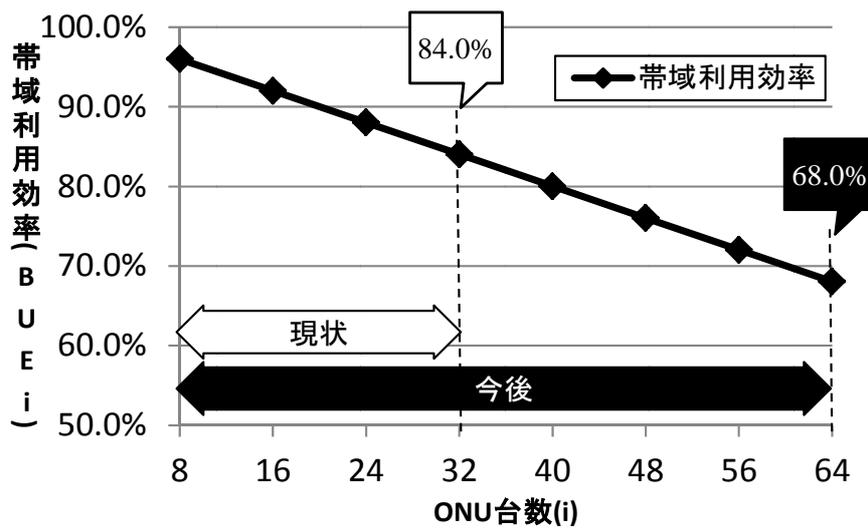


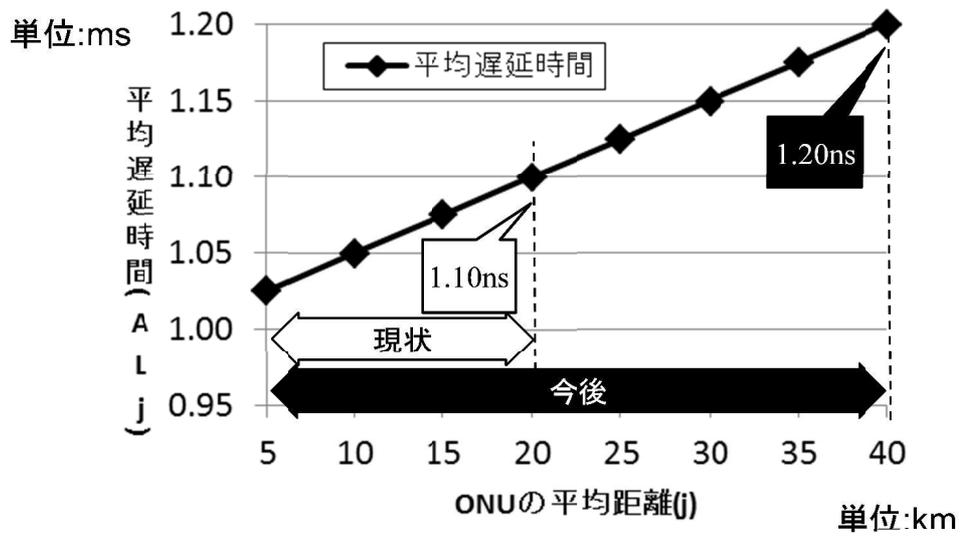
図 5-3 : DBA のシーケンス



DBA周期時間(DT) = 500 μ s

全オーバーヘッド時間(AOT_i) = ONU台数(i) × オーバーヘッド時間(2.5 μ s/台)

図 5-4 : 収容台数の変化



DBA周期時間(DT) =500 μ s

伝送遅延時間(TT_j)=ONUの伝送時間(5 μ s/km) × ONU平均距離(j)

図 5-5 : 収容平均距離の変化

5-3 : 提案する制御方法

本節では、DBA への新たな要求条件を満足するための課題を検討し、アルゴリズムを提案、および効果測定を行う。まず、帯域利用効率及び平均遅延時間は、DBA 周期時間によってトレードオフの関係となる特性を踏まえて、DBA を制御するパラメータを明確する。次に、課題解決への要求条件を明確して、アルゴリズムを提案する。最後に、提案するアルゴリズムの効果測定する。

5-3-1 : パラメータの特定と要求条件の明確化

前述の算出式(5.1)(5.2)から、帯域利用効率と平均遅延時間の共通パラメータで、かつ外部要因で変動しないパラメータは「DBA 周期時間(DT)」がある。今まで DBA 周期時間は、OLT の CPU 性能を圧迫する要因から固定であった。しかし、昨今の CPU 性能の向上[54]から、本文論では変動可能な変数として扱う。

帯域利用効率(BUE_i)は、DBA 周期時間を Type1 (500 μ s) と Type2 (250 μ s) に分け、ONU 台数毎に示す (図 5-6)。帯域利用効率(BUE_i)は、DBA 周期時間(DT)と全オーバーヘッド時間(AOT_i)の差分から DBA 周期時間(DT)の割合で算出するため、Type1(500 μ s)より Type2(250 μ s) の帯域利用効率が低い割合となる。

平均遅延時間(AL_j)は、同様に DBA 周期時間を Type1 (500 μ s) と Type2 (250 μ s) に分け、ONU の平均距離毎に示す (図 5-7)。平均遅延時間(AL_j)は、DBA 周期時間(DT)と伝送遅延時間(TT_j)の和から算出するため、Type1(500 μ s)より Type2 (250 μ s) の平均遅延時間が短いことが分かる。

図 5-8 から両パラメータは、帯域利用効率は Type1 が、平均遅延時間は Type2 のほうが良い値となり、トレードオフの関係にある。以上から DBA 周期時間は、固定で設定されることで、帯域利用効率と平均遅延時間の間にバランスを欠いた状態が発生するため、固定ではなく変数として扱っていく必要がある。

ONU の台数と ONU の平均距離の関係を図 5-9 に示す。まず Type A は、ONU の平均距離と DBA 周期時間の関係を示す。ONU の平均距離が 40km と長距離の場合(①)、平均遅延時間も長くなるため、DBA 周期時間を短くすることで平均遅延時間を短縮する。逆に、ONU の平均距離が近距離の場合(②)、ある程度 DBA 周期時間を長くしても、同じ平均遅延時間を得ることができる。対して Type B は、ONU 台数と DBA 周期時間の関係を示す。ONU 台数が 64 台と多数の場合(③)、帯域利用効率が落ちるため、DBA 周期時間を長くして帯域利用効率を向上する。逆に、ONU 台数が少ない場合(④)、ある程度 DBA 周期時間を短くしても、近似した帯域利用効率を得ることができる。このように ONU の台数、ONU も平均距離によって取るべき DBA 周期時間を変えていく必要があることが分かる。

更には、帯域利用効率と平均遅延時間は、異なる尺度であるため、それぞれのパラメータに重み付けの検討が必要である。帯域利用効率は、1 心を複数ユーザで共有する PON サ

ービスのため、帯域利用効率が高い程良い。しかし遅延時間は、IP 電話のようにリアルタイム性を求めるサービスの多いため、遅延時間が短いほど良い。以上の考察から、両パラメータは等しく重要であるため、本論文では帯域利用効率と平均遅延時間の重み付けはなく、公平に扱うこととする。

以上から、提案アルゴリズムへの要求条件は、トレードオフの関係にある帯域利用効率及び平均遅延時間の特性を考慮して、最適な DBA 周期時間を ONU 台数、平均距離毎に決定することが必要である。

5-3-2 : 提案アルゴリズム

提案アルゴリズムは 3 つの処理

- (I) 帯域利用効率と平均遅延時間の関係のグラフ化
- (II) 帯域利用効率と平均遅延時間の目標設定
- (III) 最適な DBA 周期時間算出

にて実現する。以下に各々の説明を述べる。

(I) 帯域利用効率と平均遅延時間の関係のグラフ化

ONU 台数(i)と平均距離(j)を決め、DBA 周期時間を変化させて得られる帯域利用効率と平均遅延時間の関係をグラフ化する(i=40, j=30 としてグラフ化したものを図 5-10 に示す)。算出式(5.3)は、算出式(5.1), (5.2)の DBA 周期時間(DT)を共通項として変形することで、帯域利用効率(BUE_i)と平均遅延時間(AL_j)で構成された式が得られる。

$$BUE_i = 1 - \frac{2AOT_i}{(1000AL_j - TT_j)} \quad (5.3)$$

次に、平均遅延時間と帯域利用効率の制約範囲から最適な DBA 周期時間範囲を定義する。

【平均遅延時間】

制約 1 : 最大の DBA 周期時間を上限とする。

制約 2 : 最小の DBA 周期時間を下限とする。

【帯域利用効率】

制約 3 : 最大の DBA 周期時間を上限とする。

制約 4 : DBA 周期時間が全オーバーヘッド時間と同じ場合、データを一切送れないため、全オーバーヘッド時間を下限とする。

(II) 帯域利用効率と平均遅延時間の目標設定

算出式(5.4)のように帯域利用効率が高いほど値が小さくなる指標を定義する。帯域利用効率の最大値(100%)から個々の帯域利用効率を引いた値 ($1 - BUE_i$) を \overline{BUE}_i として定義し、図 5-11 にグラフ化する。これによって、帯域利用効率 (\overline{BUE}_i) 及び平均遅延時間ともに値が少なければ少ないほど最良となる座標点を目標点と定義することができる。

$$\overline{BUE}_i = 2AOT_i / (1000AL_j - TT_j) \quad (5.4)$$

(Ⅲ) 正規化により最適な DBA 周期時間算出

帯域利用効率 (\overline{BUE}_i) と平均遅延時間(AL_j)は、単位も尺度も異なるため、比例配分にて軸の正規化を行いグラフ化する。次に、算出式(5.5)では、目標点(0, 0)から座標点(X_n, Y_n)までの距離をユークリッド距離(L_n)として算出する。

$$L_n = |(x_n - y_n) - (0,0)| = \sqrt{(x_n - 0)^2 + (y_n - 0)^2} \quad (5.5)$$

最適な DBA 周期時間の特定方法は、算出式(5.5)から最短距離となる L_m の座標点($AL_{jm}, \overline{BUE}_{im}$)を抽出する。次に、算出式(5.1)もしくは算出式(5.2)から、抽出した AL_{jm} もしくは \overline{BUE}_{im} を当てはめ、DBA 周期時間を特定する。算出式(5.6)は、仮に算出式(5.2)に抽出した AL_{jm} を当てはめると DBA 周期時間が得られる。

$$\begin{aligned} \text{Min}L_m \rightarrow (x_m, y_m) &= (AL_{jm}, \overline{BUE}_{im}) \\ \rightarrow AL_{jm} &= (2DT - TT_j) / 1000 \\ \rightarrow DT &= (1000 \cdot AL_{jm} - TT_j) / 2 \quad (5.6) \end{aligned}$$

このようにトレードオフの特徴を持った変数の場合、正規化された軸の中で目標点から最短距離となる座標点が、最適なバランスとなる帯域利用効率と平均遅延時間となる。よって、上記の手法から要求条件の通りフィールド上の ONU 台数や平均距離での最適な DBA 周期時間を定義することが可能である。

次に、手法毎での平均遅延時間と帯域利用効率 (\overline{BUE}_i) の値を比較する(図 5-12)。DBA 周期時間が固定であった既存手法①では、最大値で運用されていたため、 L_{17} の平均遅延時間は 1.15ms となるため最長となるが、帯域利用効率は 81.6%となるため最大となる。逆に、DBA 周期時間が固定であり最小値で運用されていた既存手法②では、 L_1 の帯域利用効率は 0.0%となるため最小となるが、平均遅延時間は 0.33ms となるため最短となる。つまり、DBA 周期時間が少なくても多くても通信品質は、アンバランスとなる。対して、提案手法となる L_5 は、目標点から最短の座標点のため、帯域利用効率は 53.9%と平均遅延時間は 0.55ms となり、最も偏りなくバランスが取れた結果となる。そこで、図 5-13 にて ONU 台数及び平均距離を共に増加させた場合の目標点までのユークリッド距離(距離 L)を既存手法と提案手法で比較する。DBA 周期時間の決め方として、

既存手法①：DBA 周期時間：固定で最大値(500 μ s)

既存手法②：DBA 周期時間：常に最小値すなわち全オーバーヘッド時間

提案手法：目標点と座標点のユークリッド距離が最短となる DBA 周期時間を動的に設定

を用いる。

図 5-13 の既存手法①は、図 5-12 の L_{17} に相当し、DBA 周期時間は最大値で固定となる。そのため目標点からの距離 L は、帯域利用効率($\overline{BUE_{um}}$)が 0.00 と平均遅延時間(AL_j)が 1.00 の固定値となり、全ての ONU 台数及び平均距離での同じ結果となる。図 5-13 の既存手法②は、図 5-12 の L_1 に相当し、DBA 周期時間を全オーバーヘッド時間に依存した最小値で設定している。そのため目標点からの距離 L は、最小 DBA 周期時間は帯域利用効率($\overline{BUE_{um}}$)は常に 1.00 だが、平均遅延時間(AL_j)が ONU 平均距離(j)の増加に応じて増えることで、目標点からの距離 L が徐々に開いていく。最後に提案手法は、全てのケースで目標点に最も近く、帯域利用効率($\overline{BUE_{um}}$)と平均遅延時間(AL_j)が最適なバランスとなる DBA 周期時間となっているため、提案するアルゴリズムへの要求条件を満足しているといえる。

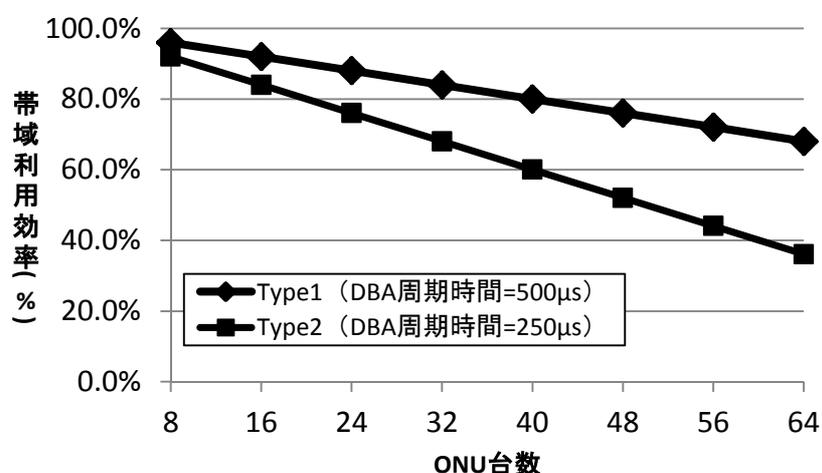


図 5-6：帯域利用効率の比較

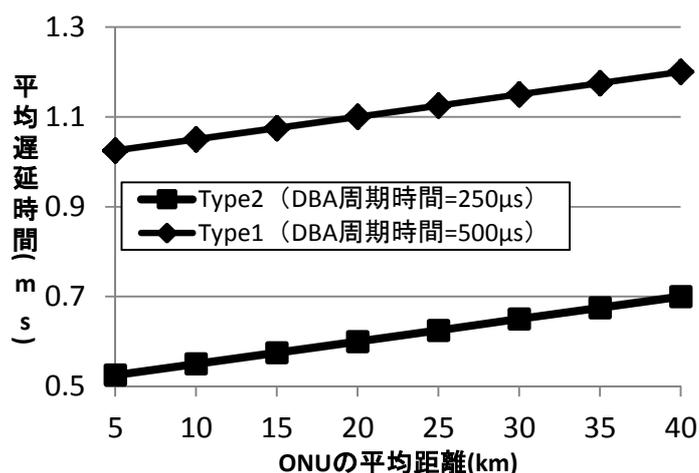


図 5-7：遅延時間の比較

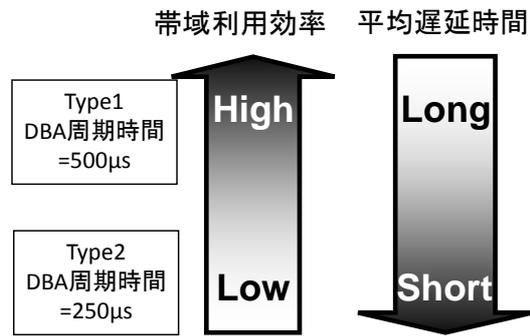


図 5-8 : DBA 周期時間でのトレードオフ関係

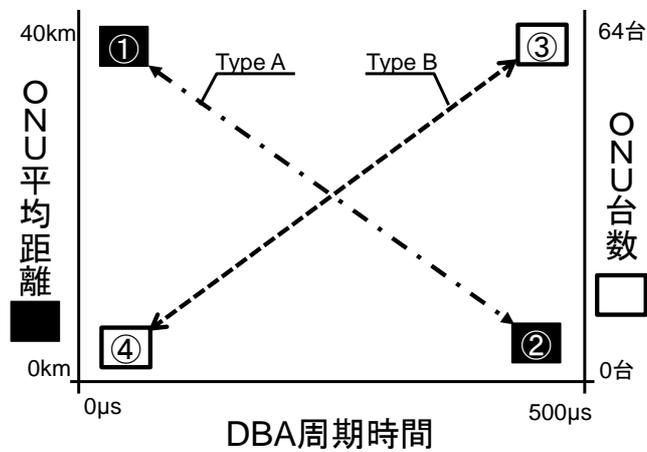


図 5-9 : ONU 台数と平均距離の関係

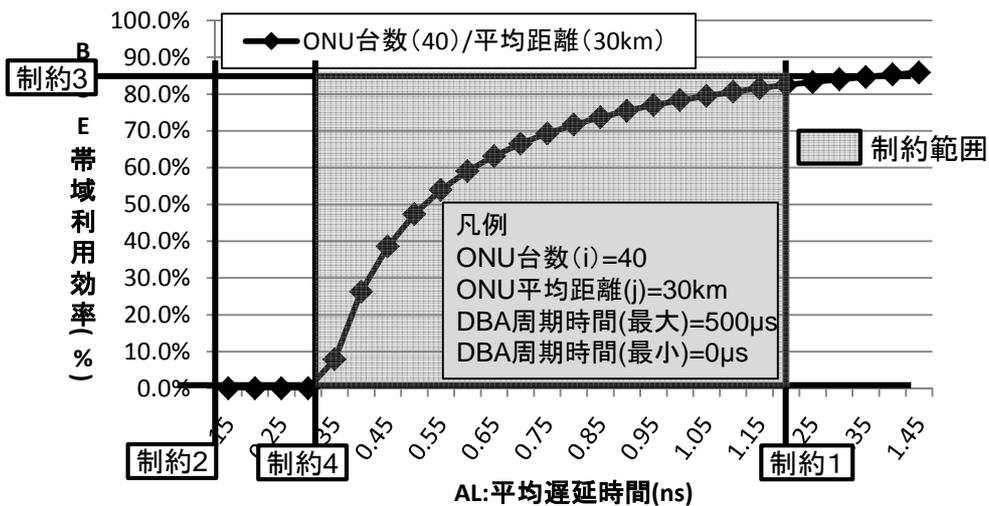


図 5-10 : 帯域利用効率と平均遅延時間の制約

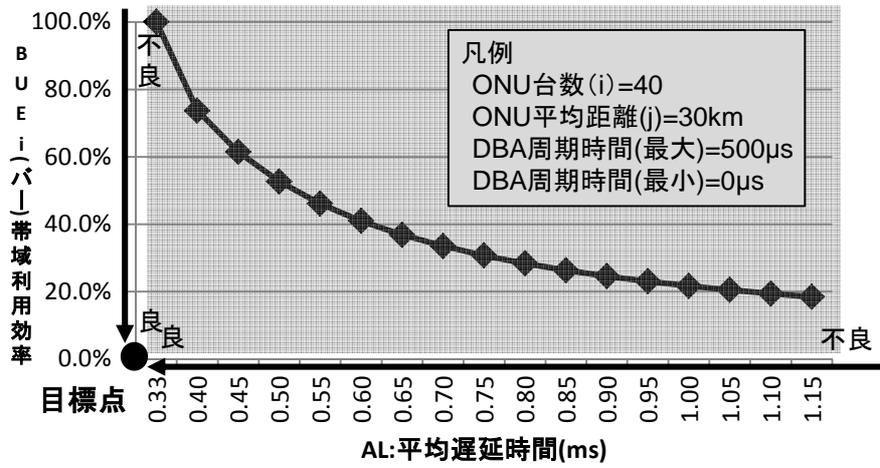
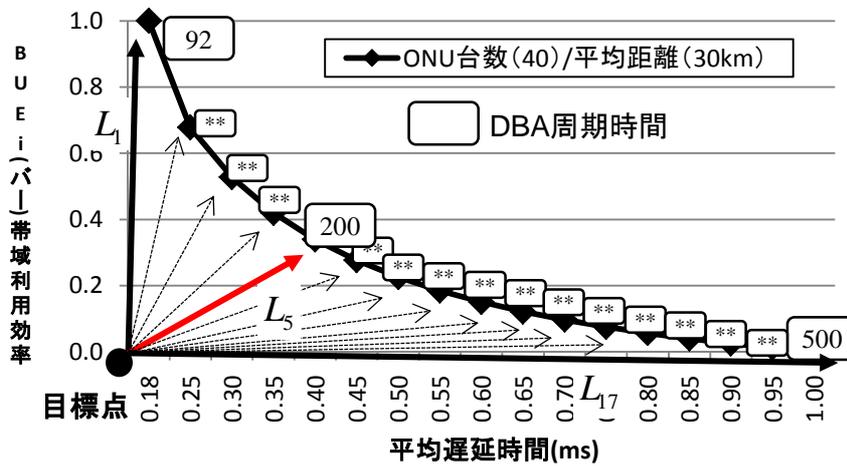
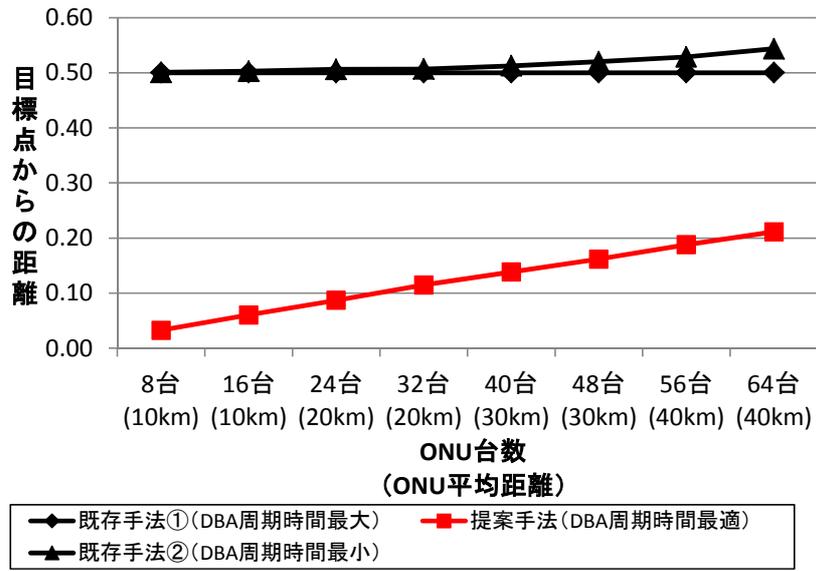


図 5-11：目標点の設定



距離	比較アルゴリズム	平均遅延時間		帯域利用効率(1 - BUEi)	
		正規化前	正規化後	正規化前	正規化後
L_{17}	既存手法① (DBA周期時間最大)	1.15ms	1.00	81.6%(18.4%)	0.00
L_1	既存手法② (DBA周期時間最小)	0.33ms	0.18	0.0%(100%)	1.00
L_5	提案手法 (DBA周期時間最適)	0.55ms	0.40	53.9%(46.1%)	0.34

図 5-12：提案する最適化方法



ONU台数 (ONU平均距離)		8台 (10km)	16台 (10km)	24台 (20km)	32台 (20km)	40台 (30km)	48台 (30km)	56台 (40km)	64台 (40km)
既存手法① (DBA周期時間最大)	DBA周期時間	500	500	500	500	500	500	500	500
	遅延時間合計	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.20	1.20
	帯域利用効率	96.3%	92.6%	88.9%	85.3%	81.6%	77.9%	74.2%	70.5%
既存手法② (DBA周期時間最小)	DBA周期時間	18	37	55	74	92	111	129	147
	遅延時間合計	0.09	0.12	0.21	0.25	0.33	0.37	0.46	0.49
	帯域利用効率	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
提案手法 (DBA周期時間最適)	DBA周期時間	100	125	150	175	200	225	250	275
	遅延時間合計	0.25	0.30	0.40	0.45	0.55	0.60	0.70	0.75
	帯域利用効率	81.6%	70.5%	63.1%	57.9%	53.9%	50.8%	48.4%	46.4%

図 5-13 : 提案手法の効果測定

5-4：提案アルゴリズムの適用範囲の提案

前節までの検討では、OLT 内部の OSU 単独での提案アルゴリズムの効果を示した。本節では、SW を含めた OAN 全体での提案アルゴリズムの適用範囲を検討する。まず、数値計算の構成を説明する。次に数値計算結果から、提案アルゴリズムの適用範囲を提案する。

対象となる構成を図 5-14 に示す。提案アルゴリズムの適用パターン(P1~3)を分ける。各パターンにて計算結果を比較し、計算結果から提案アルゴリズムの適用可否を検討する。なお、既存手法は DBA 周期時間が固定(初期値のまま)となる既存手法①を比較対象とする。

SW 配下には 2 つの OSU が設置されるケースを想定する。1 つの OSU の DBA 周期時間は $500\mu\text{s}$ と仮定した場合、SW-C:1 と OSU:1, OSU:2 について図 5-3 の DBA シーケンスを適用すると、SW-C:1 の DBA 周期時間については、SW-C 配下に 2 つの OSU が接続されているため、1 つの OSU の DBA 周期時間($500\mu\text{s}$)の 2 倍である $1000\mu\text{s}$ と定義する。エリア内の ONU は、1 つの OSU で最大 64 台の ONU を接続すると定義し、2 つの OSU では合計 128 台が SW-C:1 に接続される。また、収容する OSU から ONU までの平均距離は 40km とする。SW-C:1 から各 OSU までの距離は、異なる通信局に SW と OLT が設置されているケースを想定し、20km とする。

P1 は OLT の OSU のみに提案アルゴリズムを適用する。P3 は SW の SW-C のみに適用する。P2 は OLT の OSU と SW の SW-C 双方に適用する。上記パターンにて、OSU や SW-C での目標点からの距離 L について比較する。

結果を図 5-15、表 5-16 に示す。図 5-15 は、提案手法の方が、既存手法①と比較していずれも目標点からの距離 L が短い結果となることが分かる。表 5-16 は、図 5-15 の枠線内(OSU1, 2 : 64 台(40km), SW-C : 128 台(60km))での目標点からの距離 L を比較した結果である。P1 は、SW に提案アルゴリズムが適用されず、SW-C は目標点からの距離 L (0.50) が開いた状態になった。対して、P3 では、OLT については提案アルゴリズムが適用されず、OSU は目標点からの距離 L (0.50) が開いた状態になる。P2 は OLT と SW とともに提案アルゴリズムが適用されるため、OSU と SW-C とともに目標点から最短の距離 L (0.21 と 0.21) を保持している。

以上の結果から、P2 のように提案アルゴリズムを OLT と SW とともに適用することで、目標点からの距離 L が OSU で 42.3%、SW-C で 42.3%の向上することを確認できた。本論文では、提案アルゴリズムを OLT、SW 両方に適用する。

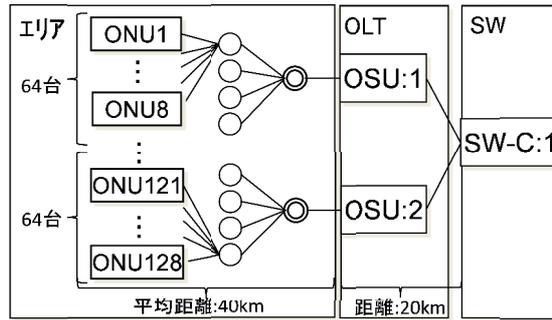
次に、実際のフィールドに近い条件で計算を行い、SW-C や OSU を含めた OAN 全体での提案手法の効果を測定する。まず、効果測定を実施する条件を図 5-17 に示す。

- ・設備条件：SW-C には 2 つの OSU が集線され、通信局 A にある SW-C から通信局 B にある OSU までの距離は 20km とする。通信局から各エリアまでの距離は、それぞれ 35km, 25km, 15km, 5km とする。
- ・測定条件：サービス開通や廃止の発生回数については 2 つの種類を考慮する。新しくサ

ービスを開通する場合、開通希望のエリアは 35km, 25km, 15km, 5km の順に発生する事とする。また、一度開通した ONU を撤去するサービス廃止は、サービス開通 6 回に 1 回発生することとする。サービス開通、廃止の発生回数を合計 128 回とする。なお、OSU の発生順序は OSU1, OSU2 の順番に発生することとする。

- ・設定条件：初期の DBA 周期時間は、OSU で 500 μ s, SW-C で 1000 μ s と設定する。提案手法の場合、シミュレーション開始時以外は提案アルゴリズムで導出された DBA 周期時間を設定する。既存手法①の場合、初期設定の DBA 周期時間を固定で設定する。ONU の伝送時間は 5 μ s/km, オーバーヘッド時間は 2.5 μ s/台とする。

結果を図 5-18, 表 5-19 に示し、提案手法の最終評価について表 5-20 に示す。これまでの評価結果とは異なり、発生エリアを分けたことや、サービス廃止を考慮したことにより ONU 台数の増加率および平均距離の伸び率が OSU 毎に異なる。結果、既存手法①は、各ケースでの距離Lに差はないが、提案手法では ONU 台数、平均距離ともに伸び率が多い OSU1 の距離Lが長く、伸び率が少ない OSU2 の距離Lが短い。また、すべての座標点において、既存手法①と比較して提案手法の方が目標点からの距離Lに近い値となることが分かった。表 5-20 では、サービス開通、廃止の発生回数が 128 回で、手法毎の帯域利用効率、平均遅延時間、目標点からの距離Lを比較した。提案手法では、ONU 台数及び平均距離が増加した場合であっても、最適なバランスで帯域利用効率と平均遅延時間を導出している。また全体効果は、目標点からの距離Lを SW-C で 29.2%, OSU1 と ONU2 で 41.9%と 16.1% (平均 29.0%) 向上することを確認し、当初定義した要求条件を満足していることを確認した。



○: 所外SP, ◎: 所内SP

項目	値
SW-CのDBA周期時間(初期値)	1000 μ s
OSUのDBA周期時間(初期値)	500 μ s
ONUの伝送時間	5 μ s/km
オーバーヘッド時間	2.5 μ s/台

	OLT	SW
P1	提案手法	既存手法①
P2	提案手法	提案手法
P3	既存手法①	提案手法

図 5-14 : シミュレーションの構成

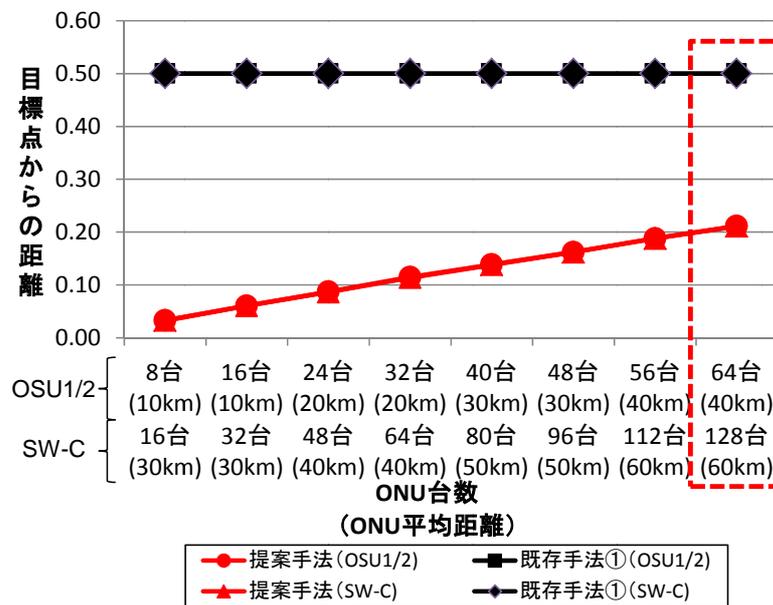
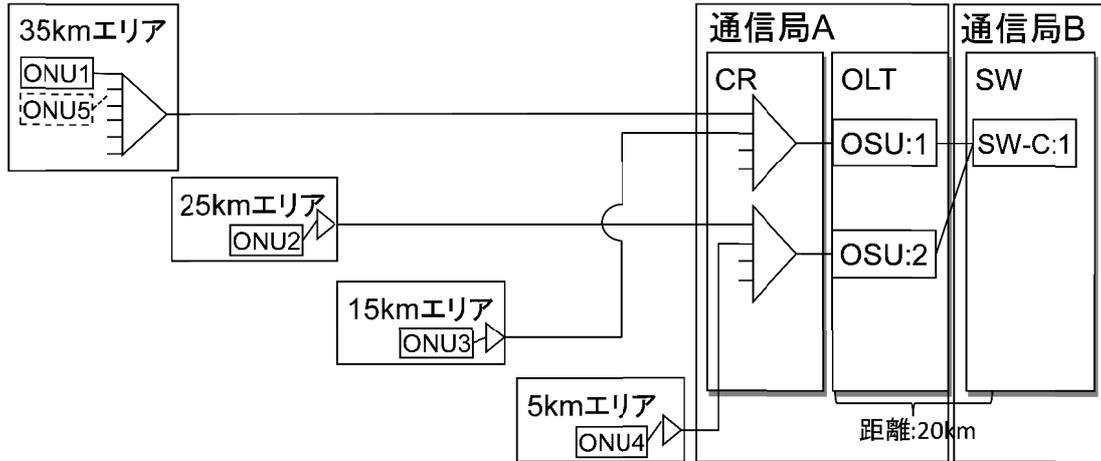


図 5-15 : 各手法の評価結果

表 5-16 : 各パターンの比較結果

	OLT	SW	目標点からの距離(OSU)	目標点からの距離(SW-C)	効果(OSU)	効果(SW-C)
P1	提案	既存①	0.21	0.50	42.3%	-
P2	提案	提案	0.21	0.21		42.3%
P3	既存①	提案	0.50	0.21	-	42.3%



<p>[測定条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開通/廃止発生回数: 合計128回 ・発生エリア順序: 35km、25km、15km、5km、35km・・・ ・OSU発生順序: OSU1、OSU2、OSU1・・・ ・廃止需要の比率: 1/6回 	<p>[設定条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・初期DBA周期時間 (OSU): 500μs ・初期DBA周期時間 (SW-C): 1000μs ・ONUの伝送時間: 5μs/km ・オーバーヘッド時間: 2.5μs/台
--	---

例:開通/廃止発生番号(発生エリア/新・廃/収容OSU)
 1(35km/新/1)、(25km/新/2)、3(15km/新/1)、4(5km/新/2)、5(35km/新/1)、6(25km/廃/2)
 、7(15km/新/1)、8(5km/新/2)、9(35km/廃/1)、10(25km/新/2) …

図 5-17 : シミュレーション条件

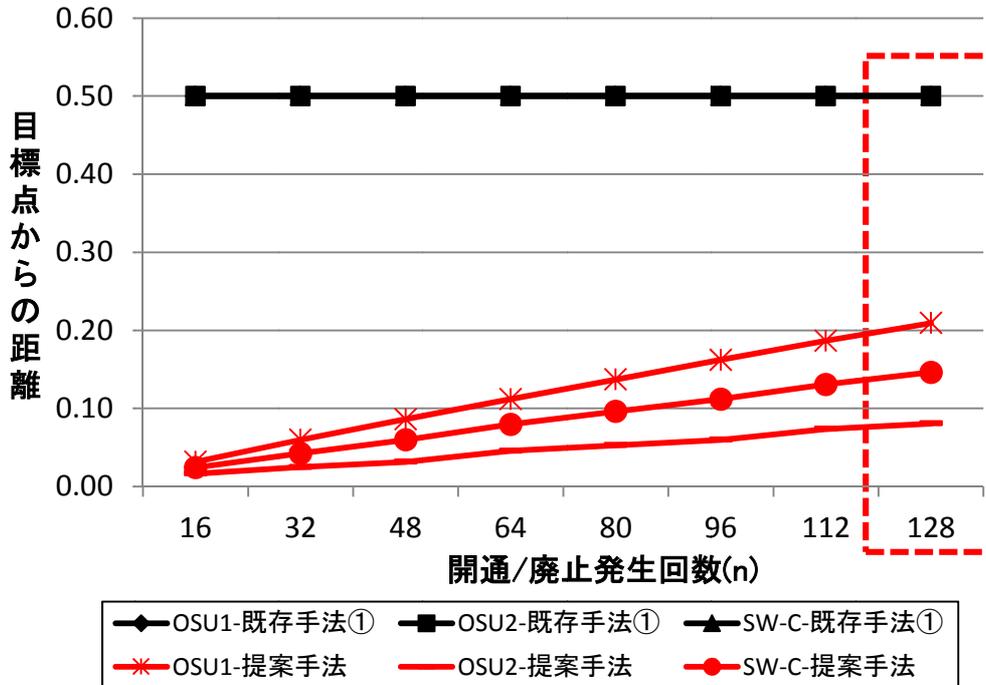


図 5-18 : シミュレーション結果

表 5-19：シミュレーション結果（詳細）

開通/廃止発生回数(n)		16	32	48	64	80	96	112	128
OSU1のONU台数		8	16	24	32	40	48	56	64
OSU2のONU台数		4	6	8	12	14	16	20	22
SW-CのONU台数		12	22	32	44	54	64	76	86
ONUの平均距離(OSU1)		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
ONUの平均距離(OSU2)		15.0	11.7	15.0	15.0	13.6	15.0	15.0	14.1
ONUの平均距離(Port)		40.0	36.7	40.0	40.0	38.6	40.0	40.0	39.1
目標点からの距離	OSU1-既存手法①	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	OSU2-既存手法①	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	SW-C-既存手法①	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	OSU1-提案手法	0.03	0.06	0.09	0.11	0.14	0.16	0.19	0.21
	OSU2-提案手法	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
	SW-C-提案手法	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15

表 5-20：提案手法の最終評価

開通/廃止発生回数 (n)=128	種別	提案手法	既存手法①	効果
帯域利用効率	OSU1	43.8%	70.5%	-
	OSU2	69.2%	89.9%	-
	SW-C	53.5%	80.2%	-
平均遅延時間	OSU1	0.65ms	1.13ms	-
	OSU2	0.40ms	1.07ms	-
	SW-C	1.05ms	2.20ms	-
目標点からの距離 (ユークリッド距離)	OSU1	0.21	0.50	41.9%
	OSU2	0.08	0.50	16.1%
	SW-C	0.15	0.50	29.2%

5-5：開通後の QoS 制御のへの考察

本章では、動的帯域割当の帯域割り当て時間（DBA 周期時間）について検討を行った。まず、10G-EPON 導入により収容ユーザ数や収容可能距離が向上しても、通信品質の制御が要求条件であることを示した。10G-EPON のメリットである収容ユーザ数と収容可能距離の向上は、帯域利用効率の低下と遅延時間の増大につながることを示した。また、帯域利用効率と遅延時間は、それを制御する DBA 周期時間によって、トレードオフの関係が発生していることを明らかにした。

上記の検討を踏まえて、アクセスネットワークの開通後の QoS 制御において、2 つのことを示した。1 つ目は、ONU 台数及び平均距離が増加することを踏まえ、帯域利用効率と平均遅延時間が最適なバランスとなる DBA 周期時間を決定するアルゴリズムを提案した。2 つ目は、DBA 周期時間を、帯域利用効率と遅延時間がバランスよく推移するように変動変数とするアルゴリズムを提案し、帯域利用効率と遅延時間を平均 29.0%効率化できることを示した。

以上の手法を用いることによって、開通後の QoS 制御の観点でアクセスネットワークにおける開通後の QoS 制御事業の効率化は可能であることがいえる。

6章：まとめと今後の課題

本論文では、日本のアクセスネットワークに対する主要事業を①設備投資、②設備管理、③設備選定、④開通後の QoS 制御、と分類し、それぞれに対する課題を明らかにして、その解決法について議論をした。日本の通信会社のビジネスモデルは、法規制などにより海外の通信会社とは異なっており、通信ネットワークの管理業務を通信会社で行っているという特徴がある。さらに、日本の通信ネットワークは、技術的な理由からコアネットワークよりアクセスネットワークの資産規模が大きい。そこで、日本の通信ネットワークの特徴を踏まえ、日本独自の方法でアクセスネットワークに対するこれら 4 つの主要事業を効率的に運用することが通信産業の活性化に必要といえる。本論文では、まず、②設備管理について、実用化に至っている技術に対する先行研究を調査し、課題の明確化から手法の提案、適用可能性の検討までの一連の成果を概観した。そして、残る①設備投資、③設備選定、④開通後の QoS 制御、それぞれの課題に対する要求条件を明確にし、効率化のための手法を提案し、その効果について実データを用いた計算により検証した。

①設備投資は、アクセスネットワークへの投資から収益に繋がるまでの期間は資産リスクとして未稼働資産が大量に残る特徴がある。そこで、資産リスクを排除し、新たな設備投資に向けた資金調達を得るために、NTT 東西会社のアクセスネットワーク資産を証券化し、その証券化によって得るキャッシュフローで、次の設備投資を実施するスキームを第 3 章で提案した。まず、資産リスクを排除して新たな資金調達が可能にすることが要求条件であることを示し、解決方法としてオフバランス化の手法を検討し、政府保証付きの証券化スキームを提案した。アクセスネットワーク資産を証券化するスキームについて、機能的構造、法・制度的要素、信用リスクマネジメントの観点で実現性を検討したうえで、証券としての収益性を収益還元法の観点から検証した。その結果、提案した証券化スキームは実現性が高く、証券としても商品価値が高いことが実証された。更には、証券化スキームを NTT 東日本に導入した場合、企業価値を示す ROI 及び ROE が平均 361%向上することがシミュレーションで示された。最終的に、証券化スキームを NTT 東西会社に導入することによる設備投資業務の効率化が可能と結論づけられた。

②設備管理は、光ファイバのような受動的な媒体を管理する業務であり、複数のエリアから通信局に集約された大量の使用済・未使用の光ファイバを効率的に管理しなければならない。更には、ユーザからの利用申し込みが発生した場合、迅速に次工程である設備選定に必要なデータを間違いなく確保することも必須である。第 2 章では、所内光媒体自体の性質と運用・管理に求められる条件と従来技術での問題点を整理し、2次元バーコードによる識別技術による一連の運用・管理手法を紹介した。本手法にて新規設備の物品を追加、撤去するような設備登録作業で 56%、構成品の接続関係を変更するような接続登録作業で 34%の効率化を確認した。この技術を導入することで、日本のアクセスネットワークの設備管理業務の効率化は可能であることが検証され、実際に実用化に至っている。

③設備選定は、ユーザからのサービス開通依頼に対してユーザ宅から通信局の通信装置まで網の目状に存在するアクセスネットワークから、最適なルートを割り出す業務である。第4章では、アクセスネットワークにおける市場動向で要求条件が異なることを明らかにした。市場拡大期の設備選定には、多くの需要から設備選定における処理量が過剰に発生するため、処理量の低減が要求条件であることを示した。また、市場安定期の設備選定では、サービスの多様化に伴い、収容率だけではなく共有帯域を加味してバランスよく収容することが要求条件であることを示した。4-1節では、通信局内の所内SPの設置位置で選定時間とコストにトレードオフが発生しているため、選定時間を低減するための選定時のOSU候補数を最適化することを検討した。選定回数の期待値からOSU候補数を最適化するアルゴリズムを提案し、実データを用いた計算により、処理量を29%効率化することを示した。また、4-2節では、収容数、最低保証帯域、平均使用帯域のそれぞれのパラメータが、どのような遷移で収容されるべきかを検討し、バランスよく収容するアルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムを使うことで、共有帯域を平均20.5%効率化できることを示した。以上から、設備選定に関しては、市場動向毎に提案したアルゴリズムを導入することで、効率化は可能だと結論づけた。

④開通後のQoS制御では、アクセスネットワークを構成する次期装置が開発されてユーザ数の収容数増加や収容可能距離の長延化が可能となっても、Quality of Service(QoS)の劣化を防止し、品質を維持する新たな制御方法を検討しなければならない。第5章では、動的帯域割当の帯域割り当て時間(DBA周期時間)について検討を行い、次期装置導入により収容ユーザ数や収容可能距離が向上しても、通信品質の制御が要求条件であることを示した。次期装置のメリットである収容ユーザ数と収容可能距離の向上は、帯域利用効率の低下と遅延時間の増大につながることを示し、それらを制御するDBA周期時間によって、トレードオフの関係が発生していることを明らかにした。そこで、これまで固定変数であったDBA周期時間を、帯域利用効率と遅延時間がバランスよく推移するように変動変数とするアルゴリズムを提案し、帯域利用効率と遅延時間を平均29.0%効率化できることを示した。最終的に、次期装置が導入されたとしても、提案アルゴリズムを用いることで、日本のアクセスネットワークの開通後のQoS制御業務の効率化は可能と結論づけた。

以上の結果から、日本のアクセスネットワークの4つの主要事業はそれぞれ効率化できることがわかった。本結果から、日本のアクセスネットワークは、海外のようにネットワーク管理を外部ベンダへ委託できない法的規制があったとしても、4つの主要事業の効率化から世界の通信産業を牽引することができるといえる。しかし、今回の提案は主要事業に閉じた手法であるため、主要事業間の関係や一連の事業のサイクルに基づいた効率性が不明瞭な点は課題として残る。そこで、今後はアクセスネットワークの4つの主要事業を一連のサイクルと見なし、主要事業がスパイラルとして上手くサイクルし、効率的な事業運営を実現するための手法の開発も必要である。

参考文献

- [1] 総務省総合通信基盤局電気通信事業部事業政策課, "電気通信事業分野における市場の現況 -インターネット接続領域/企業内ネットワーク領域," 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/denki_ichiba/h15_ichiba.html, 参照 Nov.20,2015.
- [2] 総務省 情報通信審議会, "2020-ICT 基盤政策特別部会 基本政策委員会 (第8回) 資料 8-1 2020年代に向けた固定通信分野の競争政策の在り方 P12," 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_content/000294417.pdf, 参照 Nov.20,2015.
- [3] 総務省 情報通信審議会, "2020-ICT 基盤政策特別部会 基本政策委員会 (第8回) 市場の環境変化を踏まえた NTT グループを中心とした規律の在り方," 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/02ki_ban02_03000193.html, 参照 Nov.20,2015.
- [4] 総務省 情報通信審議会, "2020-ICT 基盤政策特別部会 基本政策委員会 (第8回) 資料 8-1 2020年代に向けた固定通信分野の競争政策の在り方 P9," 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_content/000294417.pdf, 参照 Nov.20,2015.
- [5] Mo Li, Kumbesan Sandrasegaran, "Network management challenges for next generation networks," Proceeding of IEEE Conference on Local Computer Network 30th Anniversary, pp.592-598, Washington DC, Nov.2005.
- [6] 中尾直樹, 井上貴司, 井上晃, 八木裕, 富田研一, 国分利直, "所内光媒体運用・管理システムに関する検討," 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J84-B, No.9, pp1557-1565, Sep.2001.
- [7] Raul Katz, "Broadband funding mechanisms," CAF Working paper, <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/571>, 参照 Nov.20,2015.
- [8] 加藤力也, "通信回線等の市場形成と金融手法の活用に関する調査研究 調査研究論文 P17「4. 3. 1商品 (commodity) の特性」," 郵政研究所, <http://yu-cho-f.jp/research/old/pri/reserch/monthly/2002/169-h14.10/169-gsearch.html>, 参照 Nov.20,2015.

- [9] Tim Schrijver, "Off-balance financing of the fiber network at reggefiber," University of Twente, Mar.2015.
- [10] Yann d' Halluin, Peter A. Forsyth, Kenneth R. Vetzal, "Managing Capacity for Telecommunications Networks under Uncertainty," *Networking IEEE/ACM Transactions*, vol.10, No.4, pp.579-588, Aug.2002.
- [11] Kenichi Tayama, Tsutomu Maruyama, Hiroshi Uno, Takeshi Inoue, "An Operation Support System Architecture for Network Provisioning of Optical Access Networks," *NOMS2002*, pp.829-842, Florence, Italy, Apr.2002.
- [12] 増田健, 小谷忠司, 宮川慎吾, 石川数馬, 宇野浩司, "異種ドメインモデルにおける進捗管理制御," *電子情報通信学会技術研究報告*, vol.102(192), pp.7-12, Jul.2002.
- [13] 宮川慎吾, 石川一馬, 増田健, 田山健一, 宇野浩司, "光アクセス網における物理パスと論理パスのリレーション機能," *電子情報通信学会技術研究報告*, vol.102(705), pp.19-24, Mar.2003.
- [14] Michael P. McGarry, Martin Maier, Martin Reisslein, "A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms," *IEEE Communications Society*, Vol.42, No.8, pp.8-15, Aug.2004.
- [15] Osamu Yoshihara, Yukihiro Fujimoto, Noriyuki Oota, Noriki Miki, "High Performance EPON," *IEEE 802.3ah EFM*, Austin, USA, Nov.2001.
- [16] Tsutomu Tatsuta, Noriyuki Oota, Noriki Miki, Kiyomi Kumozaki, "Design philosophy and performance of a GE-PON system for mass deployment," *Optical Networking*, Vol.6, No.6, pp.689-700, Jun.2007.
- [17] 吉原修, 太田憲行, 三鬼準基, "GE-PON に適した動的帯域割当アルゴリズム," *電子情報通信学会技術研究報告*, vol.102(20), pp.1-4, Apr.2002.
- [18] 太田憲行, 村山大輔, 鈴木謙一, 三鬼準基, 吉本直人, "1G/10G EPON における上り帯域利用効率の検討," *電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集*, vol.通信(2), p.154, Aug.2007.

- [19] 立蔵正男, 宇留野重則, 富田信夫, 尾本清, "所内光配線設備の管理運用法", 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, vol.通信(2), p.456, Sep.1996.
- [20] 宇留野重則, 武本一, 立蔵正男, 富田信夫, "所内光配線管理システムの検討", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.通信(2), p.505, Mar.1998.
- [21] 富田研一, 八木裕, 井上貴司, 中尾直樹, 国分利直, "所内光配線オペレーションシステム構成法の検討," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.通信(2), p.394, Mar.2000.
- [22] 井上貴司, 八木裕, 富田研一, 中尾直樹, "設備ビル光配線オペレーションサポートシステム端末設置形態の提案," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.通信(2), p.392, Mar.2000.
- [23] 八木裕, 富田研一, 中尾直樹, 国分利直, "2次元バーコード技術を利用した所内光配線管理方法の検討," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.通信(2), p.403, Mar.2000.
- [24] 東野光徳, 井上貴司, 国分利直, "UML を用いた所内光配線管理システムの分析・設計," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.通信(2), p.645, Mar.2000.
- [25] 井上貴司, 八木裕, 富田研一, 中尾直樹, 宇野浩司, "所内光媒体選定システムの構築に関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.100(56), pp.13-18, May2000.
- [26] 東京建物株式会社, "不動産ソリューションサポート," 東京建物株式会社, <http://www.tatemono.com/solution/support/bs/?iad2=tatemono>, 参照 Nov.20,2015.
- [27] RICE 一般財団法人建設経済研究所, "建設経済の最新情報ファイル- I 米国の住宅金融分野に関する動き (連邦政府による住宅ローンの信用補完)," RICE, http://www.rice.or.jp/regular_report/monthly.html, 参照 Nov.20,2015.
- [28] 第 156 回国会 国土交通委員会, "住宅金融公庫法及び住宅融資保険法の一部を改正する法律案 (内閣提出第四四号)," 国土交通委員会, http://www.shugiin.go.jp/Internet/itdb_kaigiroku.nsf/html/kaigiroku/009915620

- 030415015.htm, 参照 Nov.20,2015.
- [29] 井出保夫, 証券化のしくみ, 日本実業出版社, 東京, 1999.
- [30] 総務省 総合通信基盤局 電気通信事業部, "我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計・試算," 総務省,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000098.html , 参照 Nov.20,2015.
- [31] 総務省 情報通信審議会, "加入光ファイバに係る接続制度の在り方について, 電気通信事業政策部会 平成 27 年 2 月 9 日付け諮問第 1220 号答申 P85," 総務省,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban03_02000313.html , 参照 Nov.20,2015.
- [32] 投資信託法 2 条 1 項
- [33] 証券取引法 2 条 8 項
- [34] 消費者契約法 9 条
- [35] 金融商品取引法 4 条
- [36] NTT 法 2 条
- [37] 首相官邸 産業競争力会議, "資料 11 ITを活用したビジネスイノベーション資料 11 P9," 首相官邸,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/skkaigi/dai6/siryou.html> , 参照 Nov.20,2015.
- [38] 大垣尚司, ストラクチャーファイナンス入門, 日本経済新聞社, 東京, 2003.
- [39] 大橋和彦, 証券化の知識, 日経文庫, 東京, 2001.
- [40] NTT 東日本, "第 16 期決裁報告資料 決算概要 (2015.5.15) ," NTT 東日本,
<http://www.ntt-east.co.jp/kessan/> , 参照 Nov.20,2015.

- [41] 総務省 情報通信審議会 電気通信事業政策部会, "加入光ファイバに係る接続制度の在り方について平成 27 年 2 月 9 日付け諮問第 1220 号 答申 P68, " 総務省, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban03_02000313.html, 参照 Nov.20,2015.
- [42] NTT 東日本, "相互接続約款資料 加入者光ファイバ接続料の認可申請について(報道発表資料)(平成 27 年 4 月 6 日補正申請)算定根拠資料(1) 網使用料 網使用料算定根拠 「加入者光ファイバの接続料<東日本> P30, " NTT 東日本, <http://www.ntt-east.co.jp/info-st/constip/cons4/index.html>, 参照 Nov.20,2015.
- [43] NTT 東日本, "相互接続約款資料 加入者光ファイバ接続料の認可申請について(報道発表資料)(平成 27 年 4 月 6 日補正申請)算定根拠資料(1) 網使用料 網使用料算定根拠 「加入者光ファイバの接続料<東日本>」 P12, " NTT 東日本, <http://www.ntt-east.co.jp/info-st/constip/cons4/index.html>, 参照 Nov.20,2015.
- [44] NTT 東日本, "相互接続約款資料 加入者光ファイバ接続料の認可申請について(報道発表資料)(平成 27 年 4 月 6 日補正申請)算定根拠資料(1) 網使用料 網使用料算定根拠 「加入者光ファイバの接続料<東日本>P12, " NTT 東日本, <http://www.ntt-east.co.jp/info-st/constip/cons4/index.html>, 参照 Nov.20,2015.
- [45] NTT 東日本 情報 Web ステーション, "5. 相互接続に関する情報 収容局毎の協定事業者数, " NTT 東日本, <https://www.ntt-east.co.jp/info-st/sitemap/index.html>, 参照 Nov.20,2015.
- [46] NTT 東日本, "第 15 期決裁報告資料 決算概要(2014.5.15), " NTT 東日本, <http://www.ntt-east.co.jp/kessan/>, 参照 Nov.20,2015.
- [47] 経済産業省, "2013 年版ものづくり白書(概要) P28, " 製造産業局ものづくり政策審議室, <http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2013/>, 参照 Nov.20,2015.
- [48] Ikuya Takahashi, Hiroshi Uno, Koichi Sano, "Algorithm for allocating outside optical fiber in optical access networks," APNOMS2001, pp.243-254, Sydney, Australia, Sep.2001.
- [49] Akira Inoue, Mitsunori Tohno, Yutaka Yagi, Toshinao Kokubun, Hiroshi Uno,"Administration of Optical Fiber Inside a Central Office," APNOMS2001,

p.500, Sydney, Australia, Sep.2001.

- [50] 総務省 情報通信統計 DB, "我が国のインターネットにおけるトラフィック総量の把握," 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin01.html>, 参照 Nov.20,2015.

- [51] 総務省情報通信統計 DB, "我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算," 総務省, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000077.html, 参照 Nov.20,2015.

- [52] 伊藤猛, 氏川裕隆, 光井隆, 田代隆義, 原一貴, 田所将志, 西原晋, 太田憲行, 坂本健, 鈴木謙一, 佐藤洋志, 小島良晃, 森秀紀, 吉本直人, "広帯域・多分岐・低消費電力を実現する 10G-EPON システムの動作検証," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.111(410), pp.79-84, Jan.2012.

- [53] NTT New Releases, "10Gbit/s のアクセス速度において 100km 級の広域光アクセス実証実験," NTT, <http://www.ntt.co.jp/news2012/>, 参照 Nov.20,2015.

- [54] 総務省 H26 情報通信白書, "(1) ICT の進化が促すビッグデータの生成・流通・蓄積," 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc131110.html>, 参照 Nov.20,2015.

Appendix1：東京エリアのビル毎の他事業者率

No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率	No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率
		光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線					光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線		
1	大手町FS	39	0	50	89	1.3%	102	千住	14	1	11	26	0.4%
2	霞ヶ関	38	0	90	128	1.9%	103	西新井	12	1	9	22	0.3%
3	神田	28	1	31	60	0.9%	104	竹の塚	17	1	16	34	0.5%
4	駿河台	23	1	32	56	0.8%	105	東京綾瀬	13	1	9	23	0.3%
5	九段	12	0	15	27	0.4%	106	葛飾	13	1	11	25	0.4%
6	九段別棟	35	1	32	68	1.0%	107	亀有	11	1	10	22	0.3%
7	丸の内	78	1	74	153	2.3%	108	金町	12	1	10	23	0.3%
8	大手町	0	0	24	24	0.4%	109	江戸川別館	15	1	13	29	0.4%
9	大手町別館	0	0	44	44	0.7%	110	小岩	15	1	11	27	0.4%
10	一ツ橋	0	0	16	16	0.2%	111	葛西	20	1	17	38	0.6%
11	京橋	18	0	17	35	0.5%	112	東江戸川	12	1	10	23	0.3%
12	銀座	25	0	26	51	0.8%	113	八王子元横山	16	1	16	33	0.5%
13	東銀座	27	1	57	85	1.3%	114	八王子浅川	14	2	15	31	0.5%
14	東京築地	26	1	24	51	0.8%	115	八王子明神	16	1	12	29	0.4%
15	茅場兜	34	1	51	86	1.3%	116	八王子恩方	8	1	10	19	0.3%
16	晴海	39	1	38	78	1.2%	117	八王子下川口	9	0	8	17	0.3%
17	東京浜町	23	1	82	106	1.6%	118	八王子由木	18	1	17	36	0.5%
18	芝	34	1	32	67	1.0%	119	八王子片倉	15	2	14	31	0.5%
19	東京赤坂	33	1	29	63	1.0%	120	八王子遠山	12	0	10	22	0.3%
20	東京青山	35	1	54	90	1.4%	121	八王子新明神	0	0	18	18	0.3%
21	白金	36	2	32	70	1.1%	122	立川砂川	14	1	12	27	0.4%
22	東京三田	33	1	35	69	1.0%	123	新立川別	0	0	23	23	0.3%
23	新宿	27	1	55	83	1.3%	124	新立川	21	1	20	42	0.6%
24	東京大久保	31	1	28	60	0.9%	125	武蔵野	19	1	25	45	0.7%
25	新淀橋	25	1	23	49	0.7%	126	吉祥寺	14	1	15	30	0.5%
26	四谷	34	1	35	70	1.1%	127	武蔵境	15	1	19	35	0.5%
27	牛込	23	1	28	52	0.8%	128	三鷹	27	1	22	50	0.8%
28	西新宿	25	0	53	78	1.2%	129	青梅	13	2	14	29	0.4%
29	新宿別	0	0	12	12	0.2%	130	青梅東	11	2	11	24	0.4%
30	小石川	30	1	47	78	1.2%	131	青梅小曾木	7	0	6	13	0.2%
31	東京大塚	24	1	38	63	1.0%	132	青梅沢井	5	0	6	11	0.2%
32	駒込第2	17	1	15	33	0.5%	133	青梅吉野	5	0	6	11	0.2%
33	東京上野	22	1	18	41	0.6%	134	武蔵府中	20	1	21	42	0.6%
34	浅草	19	1	18	38	0.6%	135	昭島	14	1	10	25	0.4%
35	吉原	13	1	14	28	0.4%	136	調布	21	1	17	39	0.6%
36	蔵前	0	0	45	45	0.7%	137	町田	14	1	12	27	0.4%
37	白鬚	0	0	25	25	0.4%	138	鶴川	10	1	11	22	0.3%
38	墨田	25	1	23	49	0.7%	139	町田忠生	10	1	9	20	0.3%
39	本所	18	1	17	36	0.5%	140	町田北忠生	12	0	7	19	0.3%
40	向島	13	1	10	24	0.4%	141	町田鶴間	12	1	10	23	0.3%
41	江東	41	1	37	79	1.2%	142	小金井	14	1	14	29	0.4%
42	東京深川	29	1	38	68	1.0%	143	東京小平	16	1	12	29	0.4%
43	東京城東	21	1	18	40	0.6%	144	東京日野	15	1	12	28	0.4%
44	江東辰巳	17	1	17	35	0.5%	145	日野高幡	11	1	12	24	0.4%
45	TTC	32	0	24	56	0.8%	146	東村山	13	1	11	25	0.4%
46	東京新有明	1	0	21	22	0.3%	147	東京国分寺	15	1	22	38	0.6%
47	東京大崎	33	1	30	64	1.0%	148	国立	16	1	15	32	0.5%
48	東京大崎2	0	0	40	40	0.6%	149	田無	18	1	15	34	0.5%
49	荏原	22	1	20	43	0.7%	150	保谷	15	1	12	28	0.4%
50	品川	46	1	42	89	1.3%	151	福生	12	1	14	27	0.4%
51	大田支店埠頭	18	0	19	37	0.6%	152	狛江	13	1	9	23	0.3%
52	自由ヶ丘	14	1	12	27	0.4%	153	村山大和	13	1	11	25	0.4%
53	目黒本館	23	1	16	40	0.6%	154	清瀬	14	1	13	28	0.4%
54	唐ヶ崎	0	0	27	27	0.4%	155	東久留米	13	1	11	25	0.4%
55	蒲田	22	1	19	42	0.6%	156	武蔵村山	11	1	10	22	0.3%
56	東京大森	22	1	20	43	0.7%	157	多摩	21	1	19	41	0.6%
57	馬込	19	1	17	37	0.6%	158	稲城長沼	12	1	10	23	0.3%
58	池上	14	1	12	27	0.4%	159	稲城坂浜	9	0	9	18	0.3%
59	羽田	15	1	13	29	0.4%	160	福生秋川	11	2	10	23	0.3%
60	田園調布	11	1	9	21	0.3%	161	福生羽村	10	2	14	26	0.4%
61	雪ヶ谷	12	1	12	25	0.4%	162	福生瑞穂	10	1	9	20	0.3%
62	矢口	16	1	11	28	0.4%	163	福生日の出	6	0	9	15	0.2%
63	大田支店空港	11	0	11	22	0.3%	164	五日市	9	0	9	18	0.3%
64	世田谷	23	1	18	42	0.6%	165	福生松原	3	0	3	6	0.1%
65	成城	13	1	8	22	0.3%	166	福生入里	2	0	3	5	0.1%
66	砧	20	1	16	37	0.6%	167	青梅奥多摩	2	0	4	6	0.1%
67	弦巻	15	1	12	28	0.4%	168	青梅古里	4	0	6	10	0.2%
68	東京烏山	14	1	15	30	0.5%	169	青梅小河内	2	0	2	4	0.1%
69	東京玉川	15	1	15	31	0.5%	170	伊豆大島	2	0	2	4	0.1%
70	東京瀬田	18	1	15	34	0.5%	171	岡田港	2	0	1	3	0.0%
71	上北沢	17	1	17	35	0.5%	172	波浮港	1	0	1	2	0.0%
72	松沢ビル2	13	1	17	31	0.5%	173	津倍	0	0	1	1	0.0%
73	東渋谷	28	1	31	60	0.9%	174	新島	1	0	0	1	0.0%
74	代々木	30	1	27	58	0.9%	175	武根島	1	0	0	1	0.0%
75	渋谷	29	1	26	56	0.8%	176	神津島	2	0	0	2	0.0%
76	東京野方	17	1	15	33	0.5%	177	三宅島	1	0	1	2	0.0%
77	東京中野	13	1	12	26	0.4%	178	三宅島坪田	0	0	1	1	0.0%

78	高円寺	14	1	12	27	0.4%	179	三宅島阿古	0	0	1	1	0.0%
79	杉並	17	1	15	33	0.5%	180	三宅島御蔵島	1	0	0	1	0.0%
80	井草	15	1	13	29	0.4%	181	八丈島	3	0	2	5	0.1%
81	荻窪	17	1	15	33	0.5%	182	中ノ郷	2	0	1	3	0.0%
82	久我山	14	1	15	30	0.5%	183	八丈島末吉	1	0	2	3	0.0%
83	池袋	38	1	42	81	1.2%	184	相模原	16	1	13	30	0.5%
84	巢鴨	16	1	16	33	0.5%	185	相模大野	16	1	13	30	0.5%
85	落合別館	12	1	16	29	0.4%	186	神奈川橋本	15	2	12	29	0.4%
86	十条	13	1	11	25	0.4%	187	相模原田名	10	1	10	21	0.3%
87	王子	16	1	16	33	0.5%	188	相模原麻溝	8	0	11	19	0.3%
88	田端尾久	16	1	13	30	0.5%	189	新相模原	0	0	11	11	0.2%
89	赤羽営業別館	14	1	11	26	0.4%	190	厚木岡田	0	0	7	7	0.1%
90	東京荒川	17	1	17	35	0.5%	191	座間	0	0	12	12	0.2%
91	板橋	15	0	13	28	0.4%	192	津久井城山	11	1	11	23	0.3%
92	成増	15	1	13	29	0.4%	193	津久井	7	1	8	16	0.2%
93	志村	18	1	16	35	0.5%	194	津久井青野原	4	0	3	7	0.1%
94	南板橋別館	14	1	13	28	0.4%	195	津久井鳥屋	3	0	5	8	0.1%
95	北町	16	1	15	32	0.5%	196	津久井青根	1	0	1	2	0.0%
96	練馬	19	1	16	36	0.5%	197	相模湖	6	0	6	12	0.2%
97	東京大泉	14	1	11	26	0.4%	198	八王子内郷	3	0	2	5	0.1%
98	関町	13	1	11	25	0.4%	199	八王子藤野	8	0	6	14	0.2%
99	西練馬	16	1	17	34	0.5%	200	八王子牧野	2	0	2	4	0.1%
100	石神井	14	1	12	27	0.4%	201	青梅小菅	2	0	2	4	0.1%
101	梅島	11	1	12	24	0.4%	202	青梅丹波山	1	0	1	2	0.0%

Appendix2：福島エリアのビル毎の他事業者率

No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率	No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率
		光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線					光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線		
1	福島	0	0	5	5	0.3%	96	福島東和	1	0	5	6	0.4%
2	福島清水	9	1	7	17	1.1%	97	郡山長沼	3	0	6	9	0.6%
3	福島佐倉	8	1	6	15	1.0%	98	矢田野	4	0	3	7	0.5%
4	瀬上	6	1	4	11	0.7%	99	鏡石	6	0	7	13	0.8%
5	庭坂	4	1	1	6	0.4%	100	郡山岩瀬	3	0	5	8	0.5%
6	福島大森	10	1	9	20	1.3%	101	天栄	5	0	6	11	0.7%
7	蓬萊	8	1	7	16	1.0%	102	広戸	0	0	4	4	0.3%
8	福島松川	7	1	7	15	1.0%	103	岩瀬湯本	0	0	2	2	0.1%
9	土湯温泉	1	0	3	4	0.3%	104	福島羽鳥	2	0	0	2	0.1%
10	立子山	0	0	5	5	0.3%	105	田島	5	0	5	10	0.6%
11	飯坂	7	1	6	14	0.9%	106	針生	1	0	2	3	0.2%
12	茂庭	2	0	5	7	0.5%	107	糸沢	3	0	1	4	0.3%
13	福島花園	15	1	10	26	1.7%	108	会津若松下郷	2	0	5	7	0.5%
14	会津若松	14	1	11	26	1.7%	109	湯野上	1	0	3	4	0.3%
15	東栄町分局	7	1	4	12	0.8%	110	館岩	2	0	1	3	0.2%
16	上三寄	5	0	6	11	0.7%	111	檜枝岐	1	0	1	2	0.1%
17	会津若松原	1	0	3	4	0.3%	112	伊南	3	0	1	4	0.3%
18	岩代赤井	2	0	5	7	0.5%	113	会津山口	2	0	4	6	0.4%
19	福島郡山	15	1	11	27	1.7%	114	和泉田	1	0	2	3	0.2%
20	郡山芳賀	10	1	8	19	1.2%	115	只見	2	0	2	4	0.3%
21	笹川	8	1	7	16	1.0%	116	黒谷	1	0	2	3	0.2%
22	三穂田	2	0	0	2	0.1%	117	会津若松小林	0	0	1	1	0.1%
23	日和田	6	0	8	14	0.9%	118	北会津	3	0	4	7	0.5%
24	喜久田	10	0	10	20	1.3%	119	熱塩	1	0	2	3	0.2%
25	大槻	10	1	11	22	1.4%	120	裏磐梯	4	0	3	7	0.5%
26	郡山守山	6	1	5	12	0.8%	121	北塩原	1	0	1	2	0.1%
27	二瀬	2	0	1	3	0.2%	122	檜原	0	0	3	3	0.2%
28	磐梯熱海	6	0	8	14	0.9%	123	塩川	4	0	5	9	0.6%
29	郡山西田	3	0	2	5	0.3%	124	山都	1	0	4	5	0.3%
30	多田野	3	0	4	7	0.5%	125	一ノ木	0	0	1	1	0.1%
31	柳橋	2	0	2	4	0.3%	126	西会津	2	0	4	6	0.4%
32	湖南	4	0	1	5	0.3%	127	上野尻	2	0	1	3	0.2%
33	いわき	14	1	13	28	1.8%	128	奥川	0	0	1	1	0.1%
34	小名浜	11	1	6	18	1.2%	129	会津若松荻野	4	0	4	8	0.5%
35	勿来	10	1	2	13	0.8%	130	磐梯	3	0	4	7	0.5%
36	内郷	8	1	7	16	1.0%	131	猪苗代	7	0	7	14	0.9%
37	好間	9	1	11	21	1.4%	132	川桁	3	0	4	7	0.5%
38	草野	6	0	2	8	0.5%	133	会津若松吾妻	3	0	5	8	0.5%
39	いわき常磐	9	1	7	17	1.1%	134	会津若松坂下	5	0	4	9	0.6%
40	沼之内	7	0	9	16	1.0%	135	片門	0	0	3	3	0.2%
41	豊間	4	0	7	11	0.7%	136	柳津	5	0	6	11	0.7%
42	四倉	4	0	3	7	0.5%	137	会津西山	4	0	3	7	0.5%
43	山田小湊	3	0	4	7	0.5%	138	会津若松広田	4	0	5	9	0.6%
44	いわき若葉台	9	1	7	17	1.1%	139	会津高田	4	0	3	7	0.5%
45	久ノ浜	4	0	2	6	0.4%	140	会津本郷	2	0	0	2	0.1%
46	いわき小川	5	0	1	6	0.4%	141	新鶴	1	0	2	3	0.2%
47	上遠野	1	0	0	1	0.1%	142	宮下	4	0	3	7	0.5%
48	川前	1	0	0	1	0.1%	143	会津若松沼沢	1	0	1	2	0.1%
49	合戸	4	0	6	10	0.6%	144	会津若松川口	2	0	2	4	0.3%
50	いわき三坂	3	0	2	5	0.3%	145	横田	0	0	2	2	0.1%

51	いわき沢渡	2	0	1	3	0.2%	146	会津若松昭和	1	0	1	2	0.1%
52	いわき泉	9	1	6	16	1.0%	147	郡山西郷	6	1	7	14	0.9%
53	江名	4	0	6	10	0.6%	148	白河高原	1	0	1	2	0.1%
54	いわき玉川	7	1	7	15	1.0%	149	表郷	4	0	5	9	0.6%
55	いわき窪田	4	0	0	4	0.3%	150	郡山東	2	0	5	7	0.5%
56	荷路夫	0	0	2	2	0.1%	151	泉崎	4	0	4	8	0.5%
57	田人	1	0	2	3	0.2%	152	郡山中島	2	0	4	6	0.4%
58	白河	10	1	9	20	1.3%	153	大林	5	1	5	11	0.7%
59	白坂	5	0	5	10	0.6%	154	三神	1	0	4	5	0.3%
60	郡山五箇	3	0	5	8	0.5%	155	大信	3	0	4	7	0.5%
61	福島原町	11	0	10	21	1.4%	156	棚倉	5	0	3	8	0.5%
62	橋本	0	0	4	4	0.3%	157	郡山高野	0	0	1	1	0.1%
63	郡山須賀川	11	1	10	22	1.4%	158	矢祭	3	0	1	4	0.3%
64	小作田	6	0	4	10	0.6%	159	塙	4	0	2	6	0.4%
65	郡山仁井田	3	0	4	7	0.5%	160	鮫川	4	0	4	8	0.5%
66	喜多方	10	1	8	19	1.2%	161	古殿	4	0	4	8	0.5%
67	福島相馬	8	0	7	15	1.0%	162	郡山石川	6	1	6	13	0.8%
68	原釜	1	0	3	4	0.3%	163	郡山玉川	2	0	2	4	0.3%
69	福島玉野	0	0	1	1	0.1%	164	蓬田	2	0	1	3	0.2%
70	山上	0	0	1	1	0.1%	165	郡山小平	1	0	1	2	0.1%
71	磯部	1	0	2	3	0.2%	166	郡山浅川	3	0	3	6	0.4%
72	二本松	10	1	8	19	1.2%	167	三春	7	1	9	17	1.1%
73	岳温泉	7	0	6	13	0.8%	168	小野新町	6	1	5	12	0.8%
74	桑折	5	1	1	7	0.5%	169	滝根	4	0	3	7	0.5%
75	福島伊達	6	1	1	8	0.5%	170	大越	3	0	3	6	0.4%
76	福島藤田	5	1	1	7	0.5%	171	都路	1	0	3	4	0.3%
77	福島梁川	7	1	2	10	0.6%	172	常葉	3	0	4	7	0.5%
78	保原	7	1	5	13	0.8%	173	郡山七郷	1	0	2	3	0.2%
79	福島大石	0	0	1	1	0.1%	174	移	1	0	2	3	0.2%
80	福島小国	0	0	1	1	0.1%	175	船引	6	0	6	12	0.8%
81	霊山	2	0	4	6	0.4%	176	いわき広野	2	0	5	7	0.5%
82	福島石田	0	0	3	3	0.2%	177	檜葉	4	0	2	6	0.4%
83	月館	1	0	0	1	0.1%	178	磐城富岡	6	0	7	13	0.8%
84	福島川俣	6	1	7	14	0.9%	179	いわき川内	1	0	3	4	0.3%
85	飯野	5	0	8	13	0.8%	180	大熊	5	0	3	8	0.5%
86	福島渋川	4	0	5	9	0.6%	181	いわき双葉	1	0	2	3	0.2%
87	安達	3	0	2	5	0.3%	182	浪江	4	0	6	10	0.6%
88	大玉	1	0	6	7	0.5%	183	葛尾	2	0	1	3	0.2%
89	二本松本宮	8	1	7	16	1.0%	184	新地	3	0	4	7	0.5%
90	福島岩根	2	0	2	4	0.3%	185	相馬山下	0	0	2	2	0.1%
91	白沢	2	0	5	7	0.5%	186	福島鹿島	3	0	6	9	0.6%
92	新殿	0	0	5	5	0.3%	187	小高	3	0	5	8	0.5%
93	岩代	4	0	6	10	0.6%	188	飯種	1	0	1	2	0.1%
94	百目木	0	0	3	3	0.2%	189	飯館	1	0	3	4	0.3%
95	福島太田	0	0	5	5	0.3%							

Appendix3 : 山形エリアのビル毎の他事業者率

No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率	No	ビル名	光ファイバ設備を提供している事業者数			他事業者 総和	ビル 比率
		光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線					光信号端末 回線 (SS方式)	光信号端末 回線 (SA方式)	光信号中継 回線		
1	山形	17	1	9	27	3.3%	59	本道寺	3	0	1	4	0.5%
2	山形金井	7	1	8	16	1.9%	60	大井沢	0	0	2	2	0.2%
3	山形十文字	7	1	6	14	1.7%	61	大谷	0	0	2	2	0.2%
4	東沢	1	0	2	3	0.4%	62	山形朝日	3	0	2	5	0.6%
5	今塚	10	1	7	18	2.2%	63	山形大江	1	0	4	5	0.6%
6	あかねヶ丘	10	1	6	17	2.1%	64	貴見	1	0	1	2	0.2%
7	蔵王	3	0	5	8	1.0%	65	大石田	1	0	2	3	0.4%
8	山寺	2	0	0	2	0.2%	66	山形金山	1	0	1	2	0.2%
9	山形2	0	0	5	5	0.6%	67	山形赤倉	3	0	3	6	0.7%
10	米沢	11	1	7	19	2.3%	68	大塚	1	0	4	5	0.6%
11	米沢窪田	7	0	6	13	1.6%	69	瀬見	1	0	3	4	0.5%
12	南原	5	0	6	11	1.3%	70	最上	3	0	4	7	0.9%
13	八幡原	6	1	6	13	1.6%	71	長沢	0	0	2	2	0.2%
14	白布温泉	1	0	2	3	0.4%	72	舟形	3	0	4	7	0.9%
15	小野川	2	0	3	5	0.6%	73	堀内	0	0	2	2	0.2%
16	関根	0	0	1	1	0.1%	74	安楽城	0	0	3	3	0.4%
17	口田沢	0	0	2	2	0.2%	75	真室川	4	0	4	8	1.0%
18	板谷	0	0	1	1	0.1%	76	釜淵	0	0	1	1	0.1%
19	鶴岡	10	1	8	19	2.3%	77	及位	1	0	1	2	0.2%
20	酒田大山	5	0	5	10	1.2%	78	清水	2	0	2	4	0.5%
21	酒田水沢	0	0	3	3	0.4%	79	鮭川	5	0	5	10	1.2%
22	酒田三瀬	4	0	3	7	0.9%	80	古口	3	0	4	7	0.9%
23	湯野浜	3	0	3	6	0.7%	81	角川	1	0	2	3	0.4%
24	酒田2	10	1	6	17	2.1%	82	高島	5	1	3	9	1.1%
25	酒田上田	1	0	1	2	0.2%	83	糠野目	4	0	5	9	1.1%
26	酒田緑ヶ丘	5	0	2	7	0.9%	84	中和田	4	0	3	7	0.9%
27	酒田高砂	5	0	1	6	0.7%	85	山形川西	3	0	5	8	1.0%
28	袖浦	4	0	4	8	1.0%	86	吉島	0	0	6	6	0.7%
29	東平田	0	0	1	1	0.1%	87	玉庭	2	0	0	2	0.2%
30	新堀	0	0	4	4	0.5%	88	山形小国	4	0	5	9	1.1%

31	新庄	8	1	7	16	1.9%	89	米沢今市	0	0	2	2	0.2%
32	泉田	2	0	4	6	0.7%	90	米沢沼沢	0	0	1	1	0.1%
33	寒河江	8	1	6	15	1.8%	91	米沢玉川	0	0	4	4	0.5%
34	白岩	2	0	7	9	1.1%	92	白鷹	5	0	3	8	1.0%
35	山形上山	8	1	5	14	1.7%	93	手の子	3	0	4	7	0.9%
36	須田板	1	0	2	3	0.4%	94	米沢飯豊	5	0	6	11	1.3%
37	村山	8	1	8	17	2.1%	95	米沢中津川	0	0	2	2	0.2%
38	村山大久保	2	0	2	4	0.5%	96	酒田立川	1	0	5	6	0.7%
39	袖崎	0	0	1	1	0.1%	97	酒田清川	1	0	3	4	0.5%
40	山形白鳥	1	0	2	3	0.4%	98	立谷沢	1	0	0	1	0.1%
41	大高根	0	0	2	2	0.2%	99	余目	5	0	5	10	1.2%
42	長井	8	1	6	15	1.8%	100	南野	0	0	1	1	0.1%
43	天童	9	1	7	17	2.1%	101	藤島	6	0	4	10	1.2%
44	高橋	7	1	7	15	1.8%	102	酒田羽黒	4	0	2	6	0.7%
45	神町	4	0	3	7	0.9%	103	榑引	1	0	4	5	0.6%
46	山形東郷	2	0	1	3	0.4%	104	酒田三川	6	0	4	10	1.2%
47	東根	5	1	2	8	1.0%	105	庄内朝日機械	3	0	7	10	1.2%
48	尾花沢	4	0	4	8	1.0%	106	酒田大網	2	0	5	7	0.9%
49	福原	0	0	2	2	0.2%	107	酒田大泉	4	0	4	8	1.0%
50	山形玉野	3	0	3	6	0.7%	108	温海	5	0	6	11	1.3%
51	南陽	8	1	7	16	1.9%	109	鼠ヶ間	2	0	3	5	0.6%
52	宮内	6	0	5	11	1.3%	110	大野俣	0	0	6	6	0.7%
53	米沢荻	1	0	0	1	0.1%	111	五十川	2	0	3	5	0.6%
54	山辺	5	1	5	11	1.3%	112	遊佐	3	0	0	3	0.4%
55	作谷沢	0	0	1	1	0.1%	113	酒田八幡	2	0	0	2	0.2%
56	山形中山	4	0	4	8	1.0%	114	酒田松山	4	0	6	10	1.2%
57	河北	5	1	6	12	1.5%	115	鮎海田沢	2	0	3	5	0.6%
58	山形西川	5	0	7	12	1.5%	116	山形平田	2	0	4	6	0.7%

謝辞

本研究の遂行と博士論文作成にあたり多大なる御指導，御鞭撻を賜りました，筑波大学大学院システム情報工学研究科・繁野麻衣子教授に感謝，御礼申し上げます。

博士論文研究遂行や論文作成に関して的確な御指導，御助言を頂きました波大学大学院システム情報工学研究科・吉瀬章子教授，張勇兵教授，竹原浩太助教や産業技術総合研究所ネットワークフォトンクス研究センター石井紀代主任研究員を初めとした研究所の方々に心より感謝，御礼申し上げます。

私の学生生活を応援し，常に私の良き理解者でいてくれた父，母，義父，義母，姉，義兄，弟，義妹，義弟に心より深謝します。

最後に，私の希望を尊重し，いつも温かく見守り支えてくれた妻・金井一子に心から感謝します。