

評価方法

- 中間レポートと、期末レポート
- 出席はとらないが、、、
- 質問やコメントを義務付ける
 - 期中、講義に関する技術的な内容の質問やコメントを最低2回、授業中に行うこと
 - よい質問やコメントは、成績の加点対象
 - 質問者は、講義終了後に名前と学籍番号を申告のこと

インターネットインフラ特論

2. インターネットの物理層

太田昌孝

mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

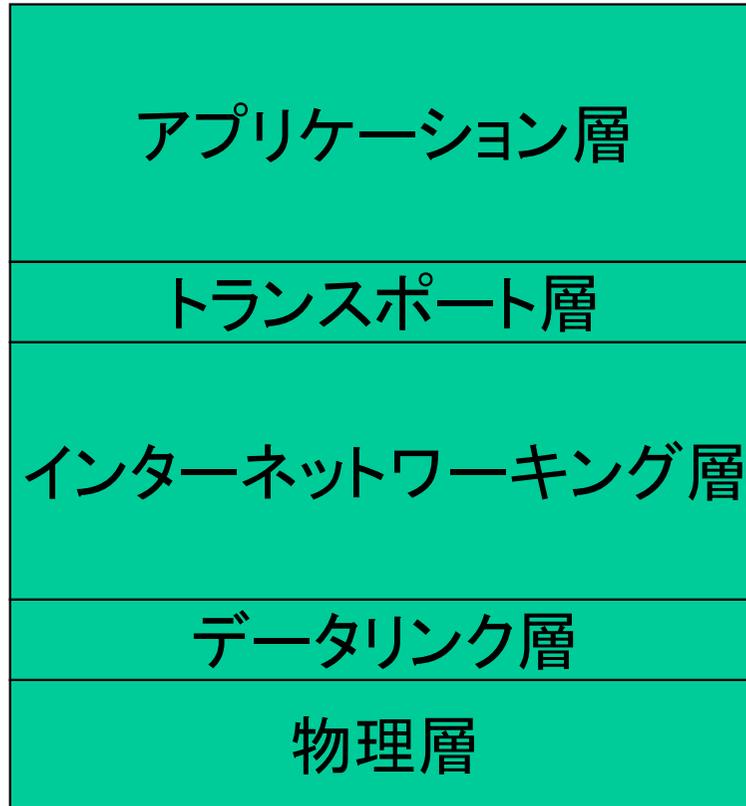
<ftp://chacha.hpcl.titech.ac.jp/infra2.ppt>

物理層

- (遠くまで伝わる)物理現象と情報を対応させる層
 - 電気(半導体により直接扱える)
 - 処理が楽
 - 光(直進、干渉なし)
 - 長距離伝送、高速伝送にはこれしかない
 - 電波(空間伝播、まわりこみ)
 - 1対多通信、携帯端末
 - 伝書鳩(RFC1149、RFC2549)

インターネットのレイヤリング

- 物理層、アプリケーション層は必須
- インターネットワーキング層はできる限りのことをやる
- データリンク層、トランスポート層は極力なにもやらない

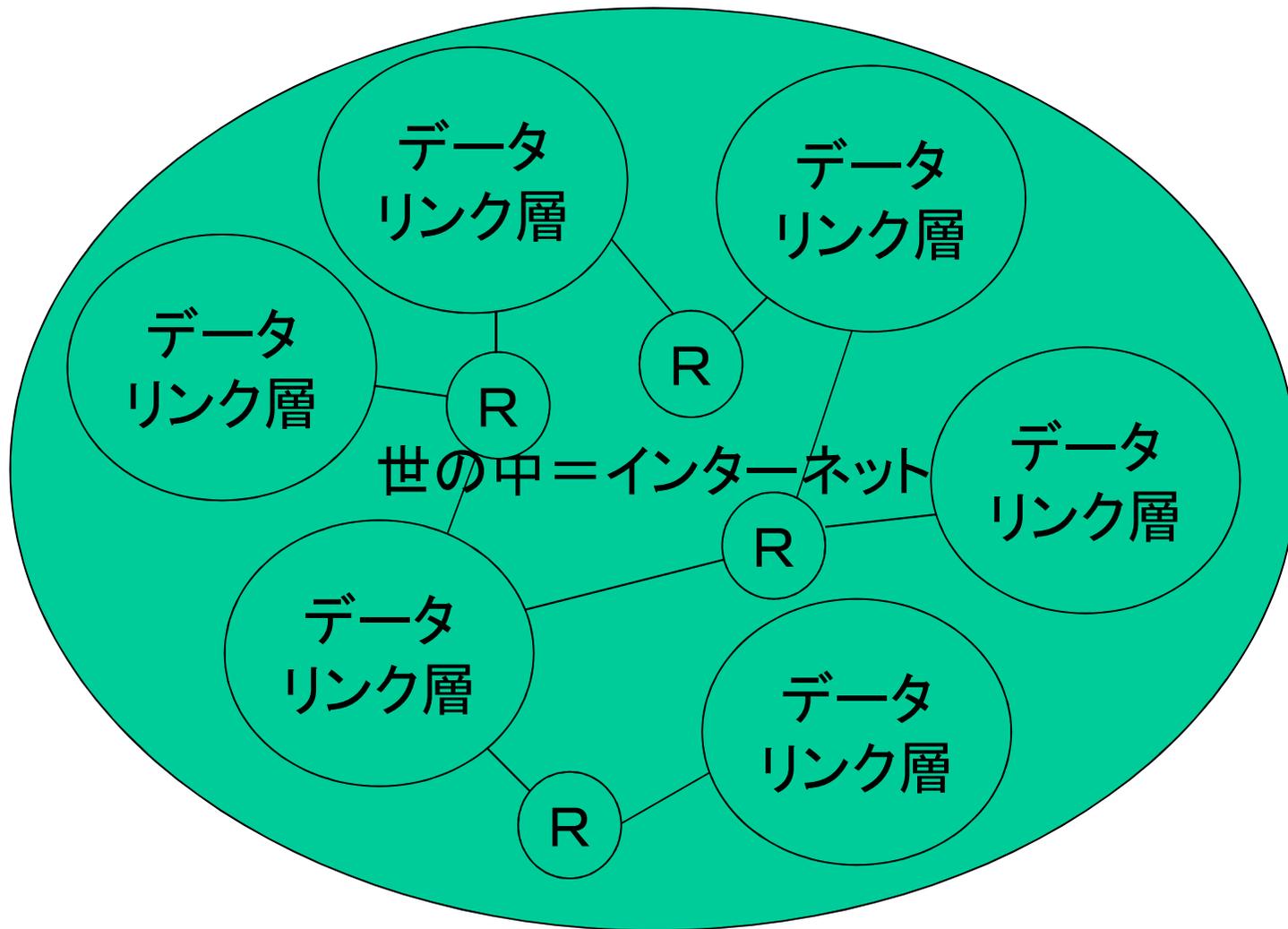


こここそインターネット

インターネットのレイヤリング構造

CATENETモデル

- 小さなデータリンクをルータでつなぐ
 - データリンク層内部ではブロードキャストも意味あり
 - 各種設定なしで通信できる
 - 小さいのは機器の数
 - 地理的に大きくてもいい



● R : ルータ

CATENETモデル

インターネットの分類

- 幹線
 - インターネット局間を接続
 - 超高速(10G \sim ∞)
- アクセス網
 - インターネット局と家庭を接続
 - そこそこ高速(数Mbps \sim ∞)
- 費用のほとんどはアクセス網にかかる

ラストマイル問題(アクセス網)

- 費用のほとんどは敷設の手間賃
- 東京大阪間は1000Kmない
- 局と加入者の距離は5Km程度
 - 1局4万加入者として
 - 200心ファイバーを200本(総延長1000Km)
- ケーブルから家庭への引き込み線が25m
 - 4万加入者で1000Km
 - 無線? 機器は? 電気は?

物理層の例

- ポイントツーポイントメディア
 - 情報(ビット、シンボル)ストリームを運ぶ
 - パケットストリームでもよい(伝書鳩等)
- ブロードキャストメディア
 - 無線LAN(アクセス網)
 - 衛星通信(広域(幹線+アクセス網))
 - ポイントツーポイントメディアのリピーター結合

WDM伝送(幹線)

- 光ファイバーの伝送能力は1Tbps以上
- 電気では10Gbps程度の伝送は大変
 - 10Gbpsでは、32ビット並列でも300MHz
 - チップ間では、このへんが限界？もう少し頑張る？
- 10Gbpsに電気で変調した光を組み合わせて100個並列に伝送すればよい
 - 波長を変えた光を組み合わせるのが簡単
 - Wavelength Division Multiplexing

幹線の経済学

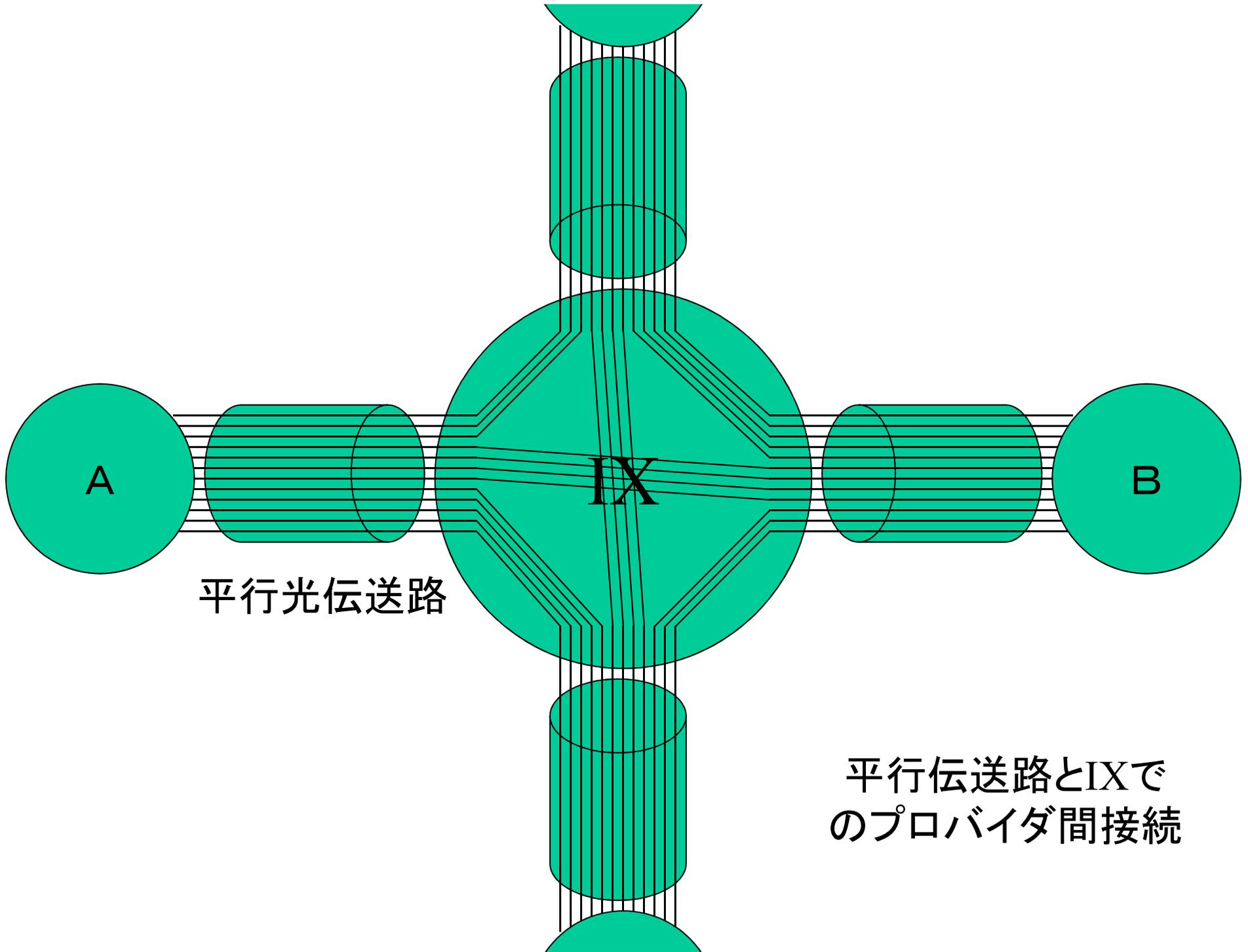
- 費用のほとんどは敷設手間賃と中継装置
 - 中継間隔が長く超高速の光ファイバーが有利
 - 1心でも千心でも、ケーブル1本の値段は無視できる
 - 多心を敷設しておけば、1本あたりは安い
- 中継装置費用は心線数に比例
 - WDMと光増幅の組み合わせにも意味あり
 - WDM機器があまり高いと多心を使うほうが安い

幹線ルータ

- 高速ルータが必要
 - 値段は速度比例程度(超並列ルータ)
 - 全加入者が同時に最高速度は使わない
 - アクセスルータの速度の合計よりだいぶ遅くてよい
- 遠距離の通信は
 - 光ファイバーで直結のほうが楽
- 多波長光パケットルータなら
 - 単体でテラビット級も可

物理層によるルーティング？

- 多数の並行伝送路があるとき
 - 線(波長)ののせかえで行き先を切り替え
- 行き先は(半)固定
 - パケット単位での切り替えは不可能
 - ルーティングでない(ルーティングはどこかで必要)
- 物理層の速度がそのままである
- WDM多重がもてはやされているが
 - 平行光伝送路(多心等)ならなんでも同じ



平行光伝送路

平行伝送路とIXで
のプロバイダ間接続

「インターネットの」アクセス網

- **ダイヤルアップインターネット接続**
 - 電話網経由でインターネットに接続
 - 物理層、データリンク層は電話網
 - 情報を必要とするときに接続
- **インターネット常時接続**
 - 物理層からインターネット専用
 - 電話網消滅時には必然
 - いつでも情報を提供できる

電話網事業と高速ネットワーク

- 電話網とは？
 - 音声を送る網
- 電話網事業とは？
 - 64Kbpsで市内3分10円とること
- 電話網事業としての高速ネットワーク
 - 100Mbpsで市内3分15000円？
 - その1/10としても客が払えない
 - 高速ネットワークは不要

インターネット事業と 高速ネットワーク

- インターネットとは
 - 元来コンピュータ間接続のための網
 - 遅くてもそれなりに使えるが、速いほど快適
- インターネット事業とは？
 - それなり(月額数千円?)のお金をもらうこと
 - その時点で最も安くて速い機器を利用
- インターネット事業と高速ネットワーク
 - FTTHなら100Mbps~10Gbps

電話事業者が考えていた あるべきアクセス網

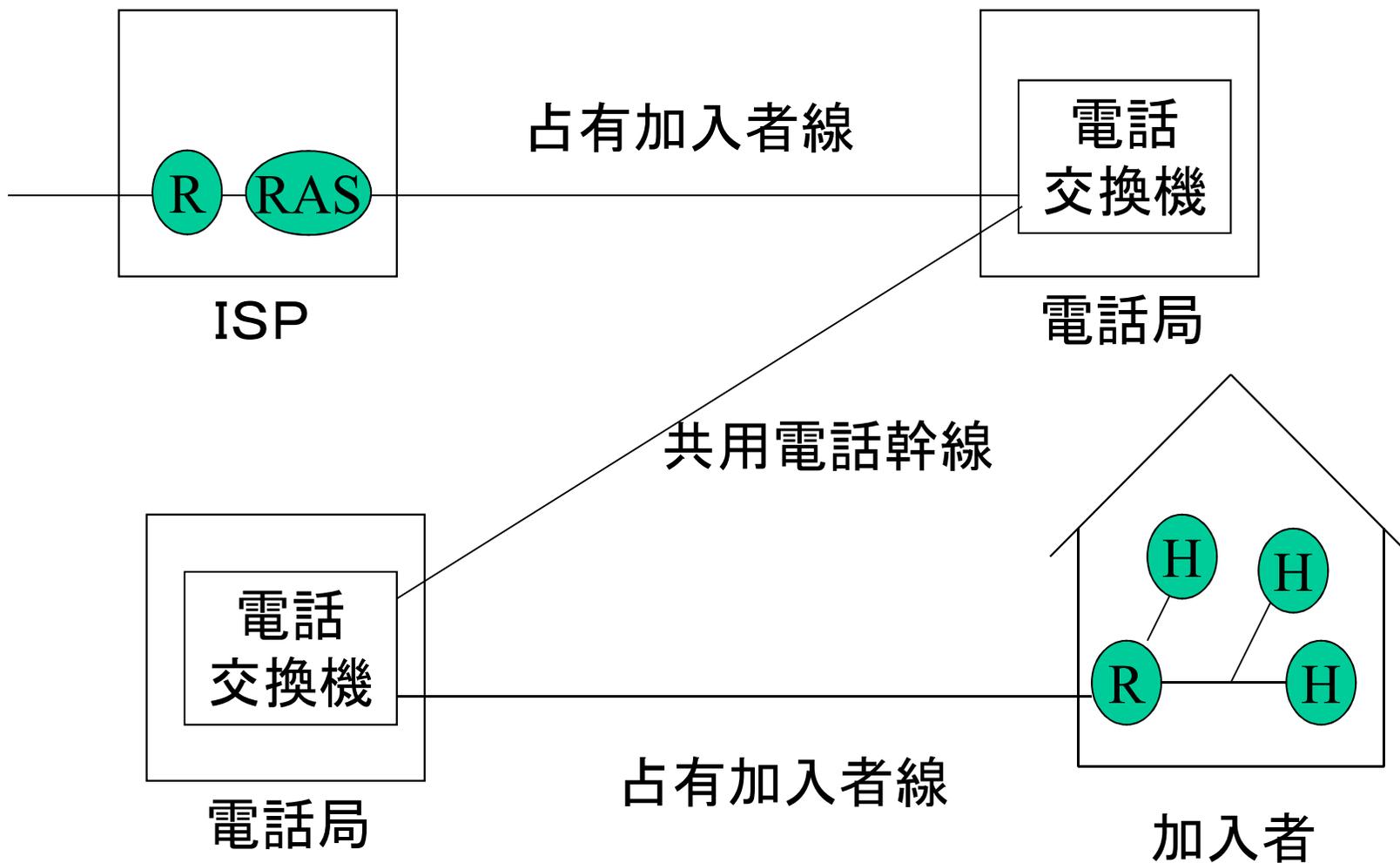
- ISDNでアクセス網をデジタル化
 - 音声伝送に64Kbpsはぜいたくだし、2回線にしたから、今後の需要にも十分
- B-ISDNでアクセス網をさらに高速化
 - 156Mbpsならいかなるアプリにも十分
 - ファイバー、機器が高価なので共有を考えよう
 - PON(Passive Optical Network)
- 値段？(64Kbpsで市内3分10円以上)



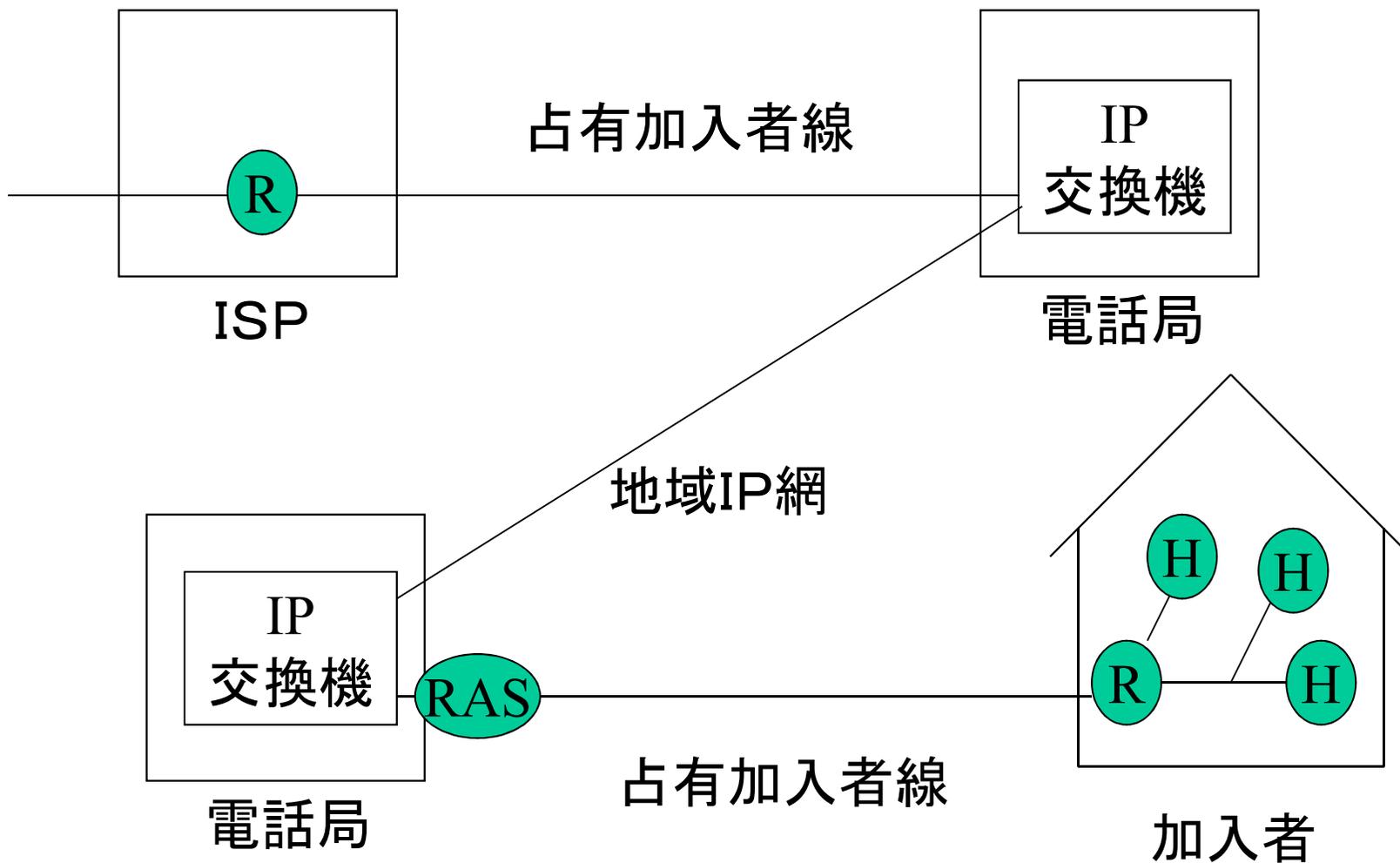
Ⓡ : ルータ

ⓗ : ホスト

まともなインターネット接続



歪んだインターネット接続1



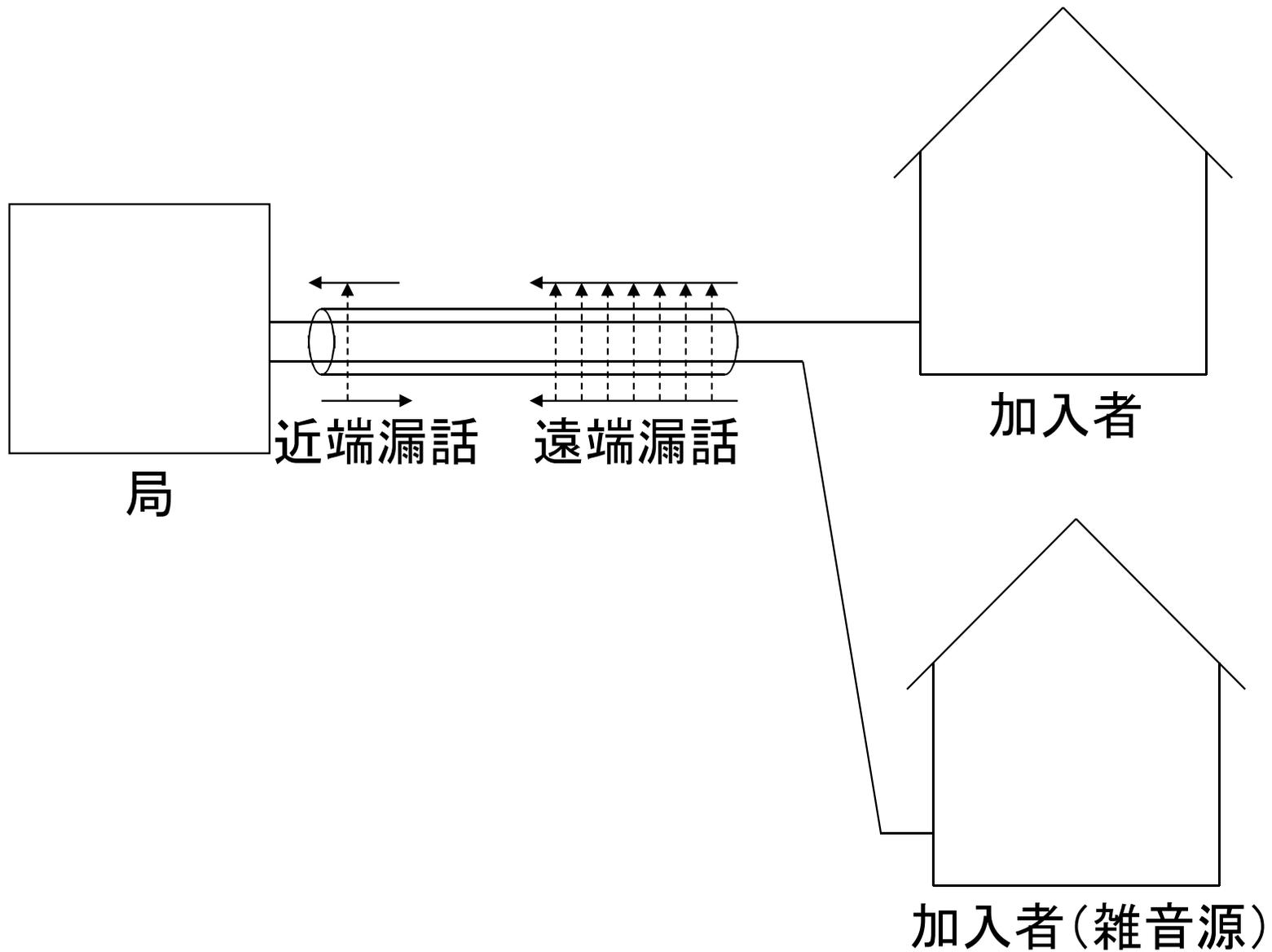
歪んだインターネット接続2

中途半端な(超高速ではない) インターネット接続

- ADSL
 - 物理層は電話網
 - 数Mbpsがせいぜい？
- ケーブルインターネット
 - 物理層はCATV網
 - 数十Mbpsを多人数で共有
- ISDNよりは、遥かにまし

ADSL

- 電話局と家庭の間の銅線を利用
 - 高度な信号処理で、銅線の能力を理論的限界まで引き出す
 - 銅線の能力は、周波数とS/Nで定まる(シャノン)
 - ADSLは1MHz程度の帯域で10Mbps程度の速度まで
- 雑音の主な原因は漏話
 - 近端漏話のほうが遠端漏話より深刻
 - ADSL相互の近端漏話は防げる



近端漏話 (NEXT) と遠端漏話 (FEXT)

ADSLの問題点

- それほど速くない（普通は数Mbps程度）
 - もとは音声伝送用の銅線なので、しかたない
- 上り下りが非対称（下りで映像伝送したい）
 - 家庭からの情報発信に不向き
- 我が国のISDNは最悪の雑音源
 - 諸外国に比べて4倍効率が悪いISDN
 - わざわざ階段状の波形を持つ
 - 幸い、利用者数は減少に転じた

ADSLとPSD標準

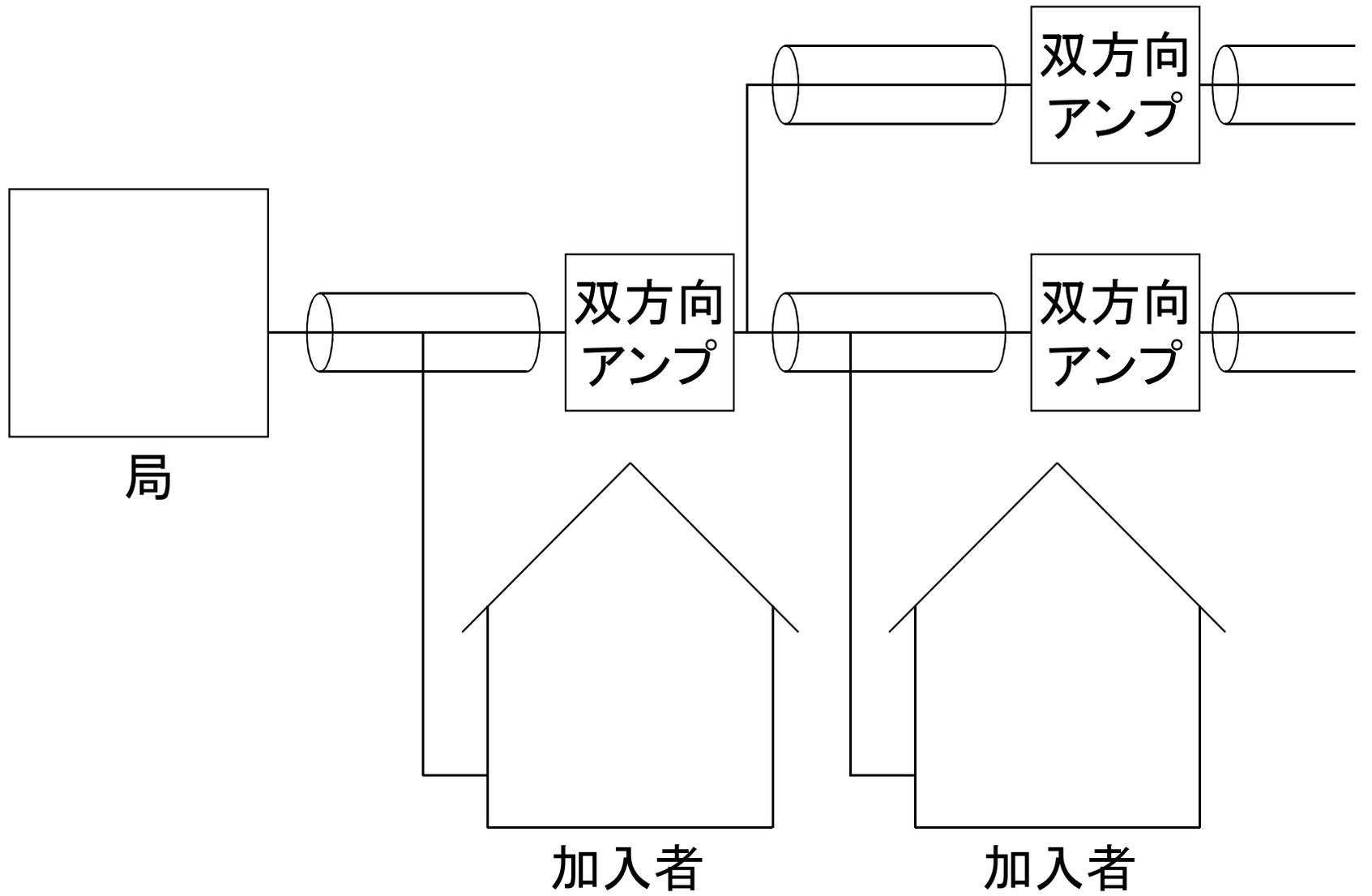
- ADSLは高周波を使うので他方式との干渉は一応問題
 - NTTの銅線を利用する業者間の調整が必要
- 諸外国では
 - ADSL以外の方式との調整が主要なテーマ
- 日本では
 - 他社のADSL方式を封じ込めるためにPSD標準が歪曲され、話が複雑化

ADSL(VDSL)の高速化

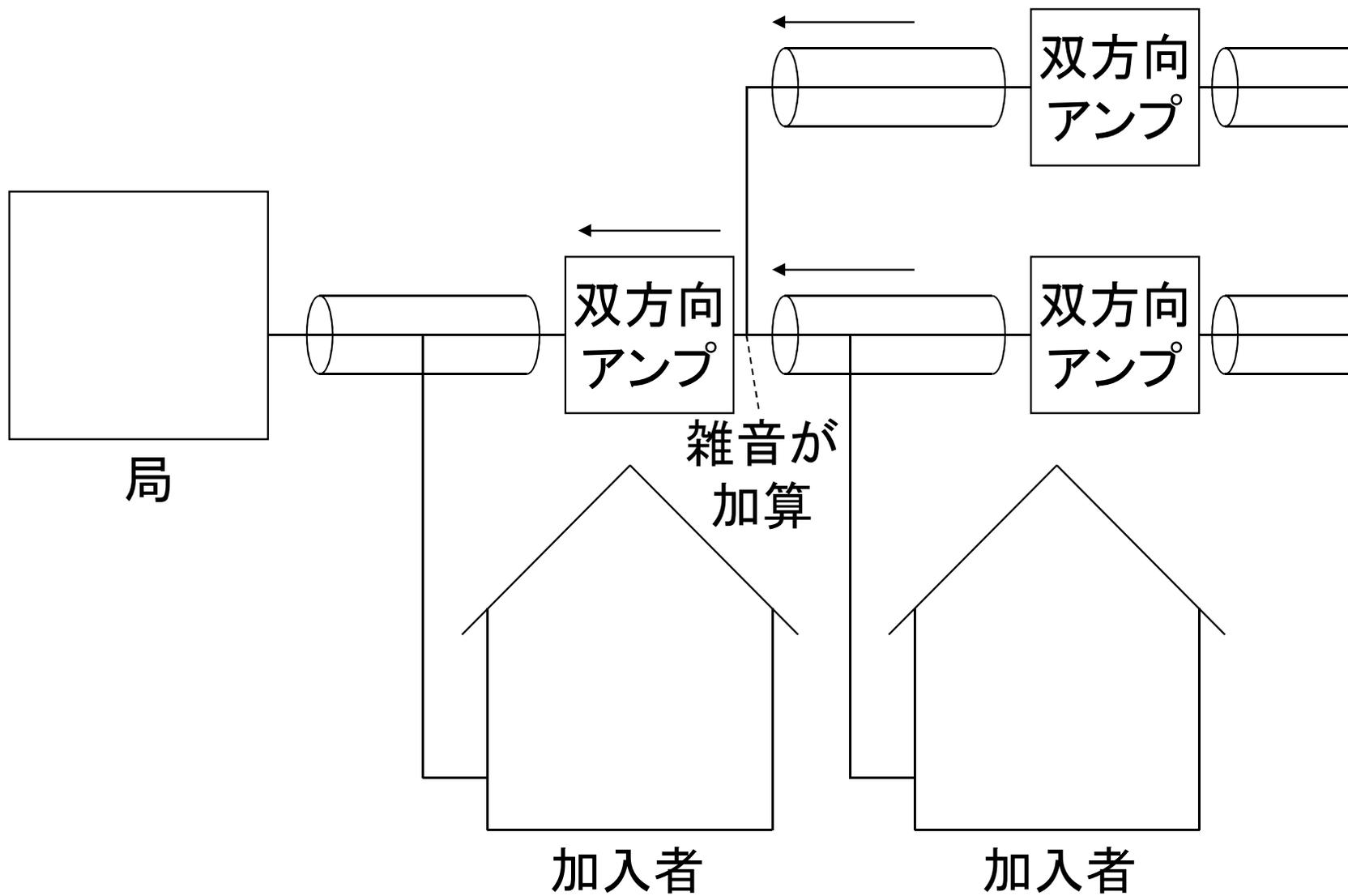
- 上り下りで同じ周波数を使うと
 - 遠距離利用者の下り速度が速く(0でなく)なる
 - 遠距離利用者の上り速度は多少遅くなる
- 2(4)MHz程度までの帯域を使うと
 - 近距離なら25(50)Mbps程度で通信可
 - 100Mbpsという話も、、、
- ただし、あくまで近距離
 - 電柱上にミニ電話局をばらまくと、競争が困難

ケーブルモデム

- CATV局と家庭間の同軸ケーブルを利用
 - 高度な信号処理で、同軸ケーブルの能力を理論的限界まで引き出す
 - TV1ch(6MHz)で、18~36Mbps程度
 - 1chを多人数(1000人?)で共有
- 家庭から局への通信が問題
 - 流合雑音
 - タイミング



ケーブルモデムインターネット



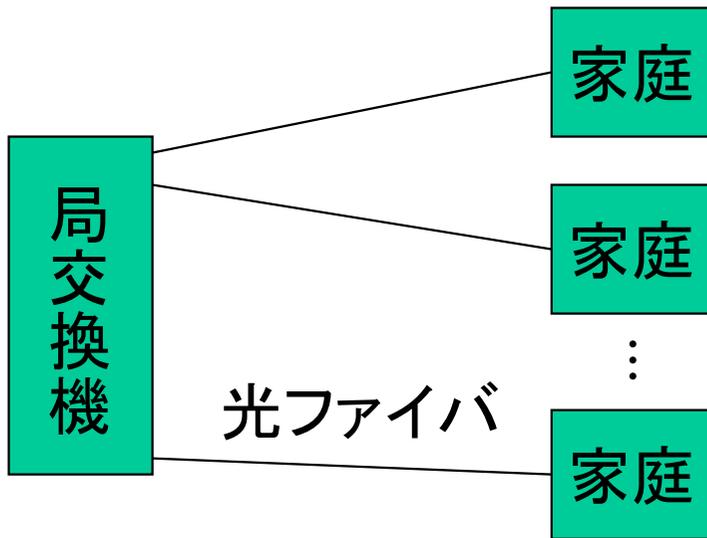
ケーブルモデムインターネットと流合雑音

FTTH(アクセス網) (Fiber To The Home)

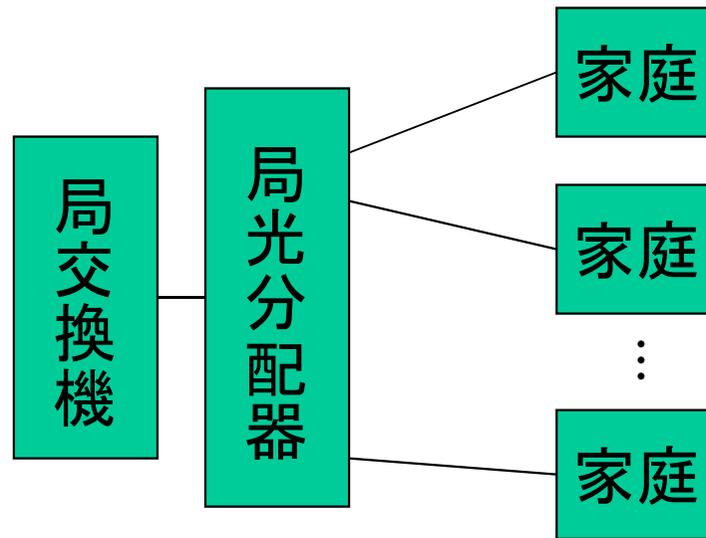
- 光ファイバーを各家庭へ
- ふつうに考えると
 - 家庭と局の装置をファイバーで直結
 - 100Mbpsの光イーサは安い
- 電話事業者が考えると
 - 光リピータでPON、GPON(Gigabit PON)
 - PONは10Mを250~750人で共有
 - GPONは600Mを32人で共有、GEAPONは1G

ポイントツーポイントメディアの ピーター結合

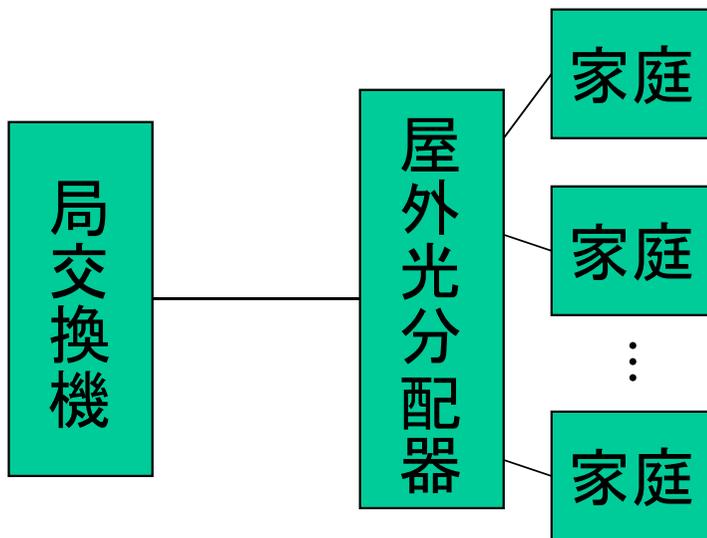
- 手軽
- メディアの帯域は無駄
 - 全員が同じ信号を受ける
- インターフェースの帯域も無駄
 - インターフェースはメディアの速度で動作
- データリンク層を複雑にする
- 2/3層の機器が安いなら、やる意味なし



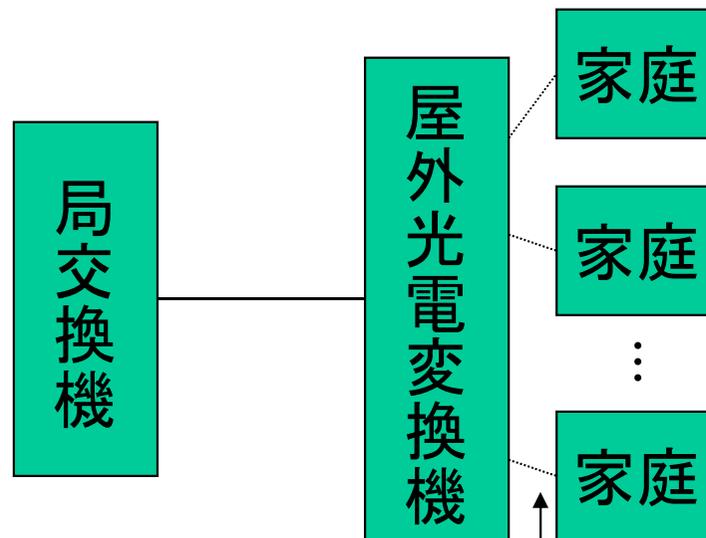
a) まともなFTTH



b) 光インターフェースを共有



c) さらにファイバーを共有



d) FTTC

銅線

FTTH/FTTCの諸形態

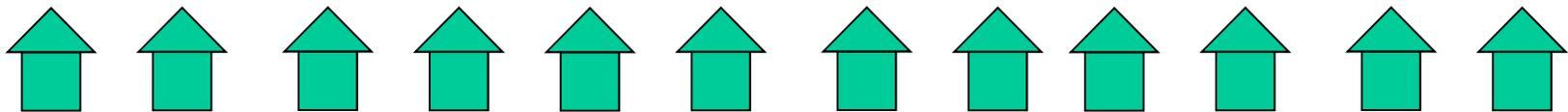
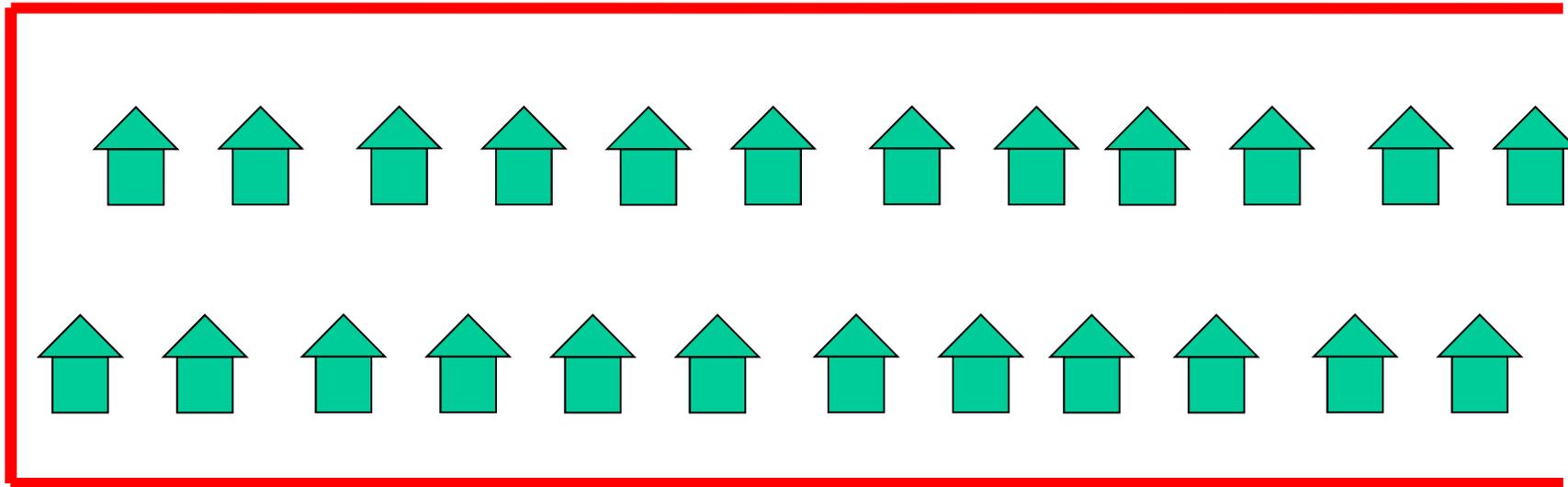
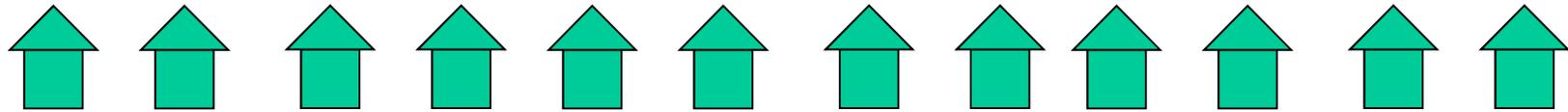
アクセス網の経済学

- 費用のほとんどは敷設の手間賃
 - 1m5千円 * 4Km / (200世帯) ~ 10万円
- どんな(電話線、同軸ケーブル、1心光ファイバ、千心光ファイバ)ケーブルをひいても、ケーブル1本の値段は無視できる
 - 一家庭10~20万円程度
 - 20年で支払うと月千円程度
- 新設ケーブルは、多心光ファイバーしかないはず

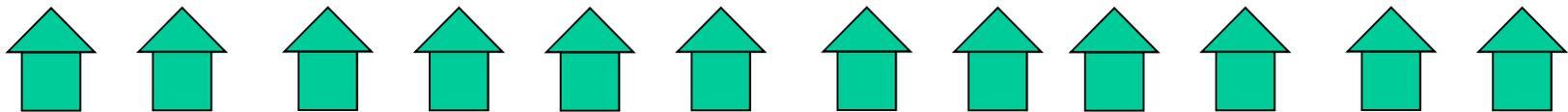
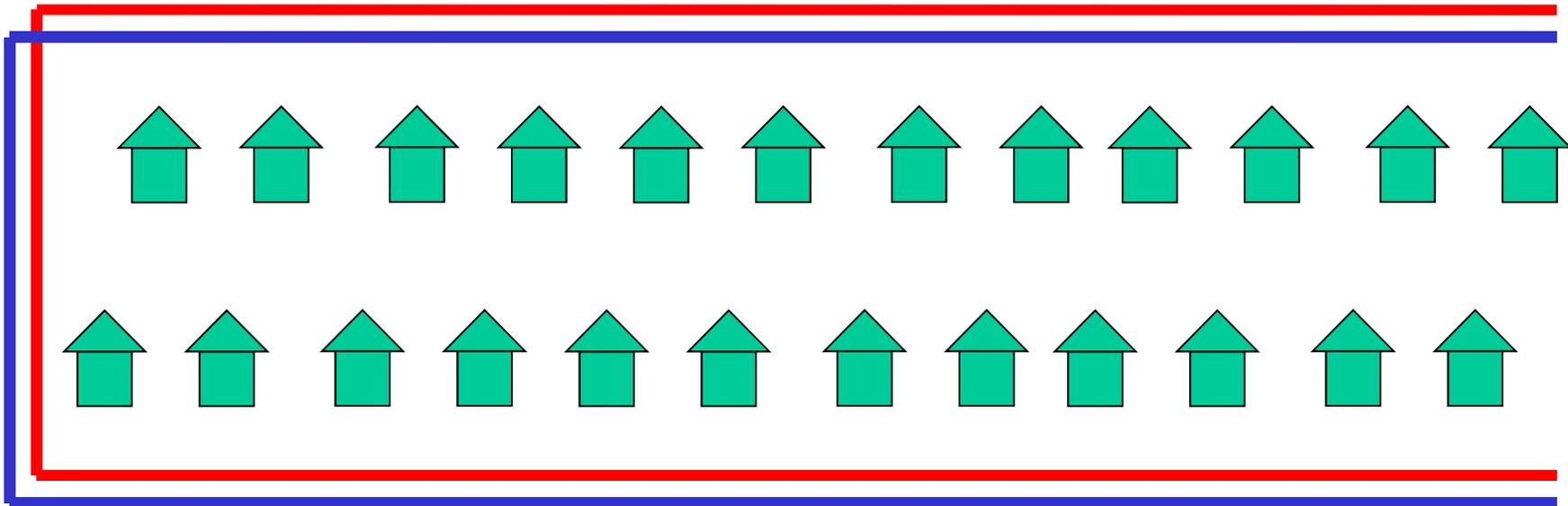
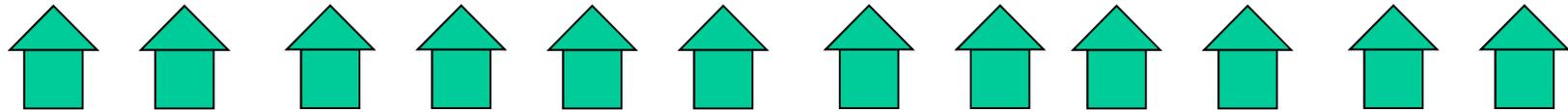
インフラ事業の地域独占性

- 地域内の各戸に到達できるアクセス網が必要なインフラ事業は、自然独占になる
 - 2業者が別々にアクセス網を持つと
 - アクセス網のコストは同じで、収入はシェア比例
 - シェアの小さな側が淘汰され、新規参入は不可能
 - 通信、電力、水道、(郵便、鉄道)等
- 地域独占性のある事業の民営化は論外
 - ユニバーサルサービスのために官が規制(癒着の温床)するより、最初から公営で

一社独占の場合の アクセス網

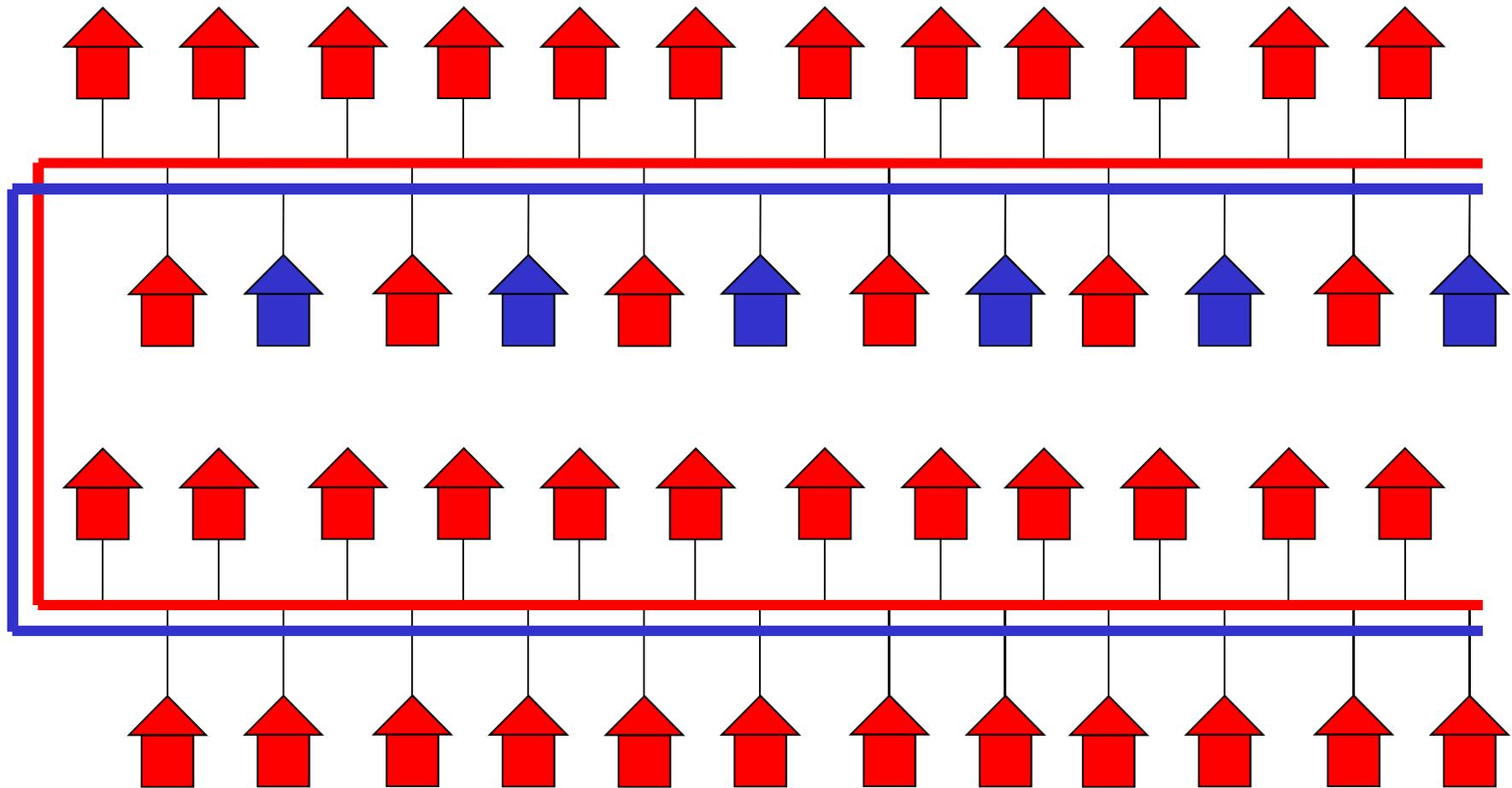


二社競合の場合 (一社あたりコストは同じ)



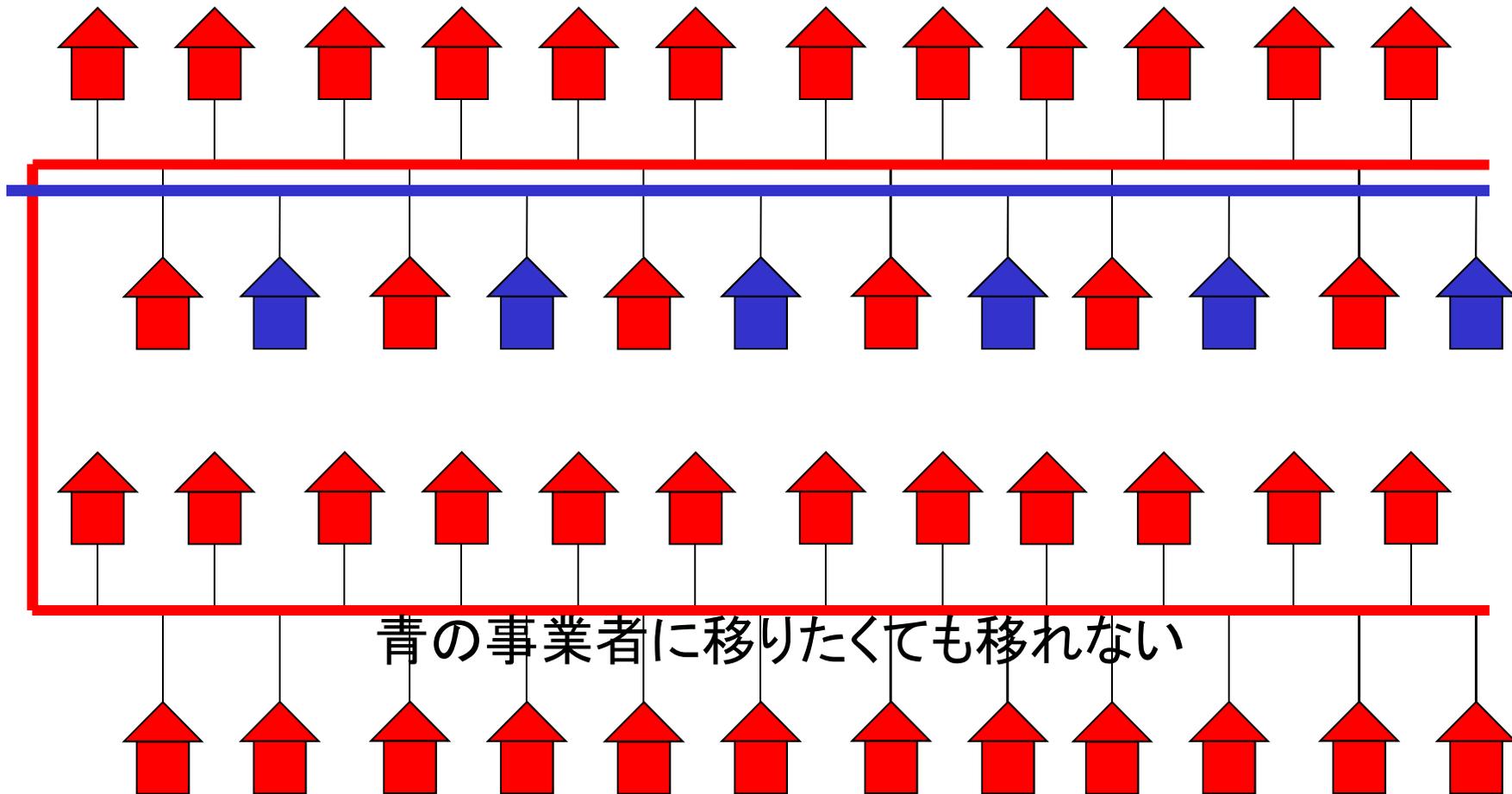
二社競合の場合

(収入は加入者数比例→自然独占)



二社競合の場合

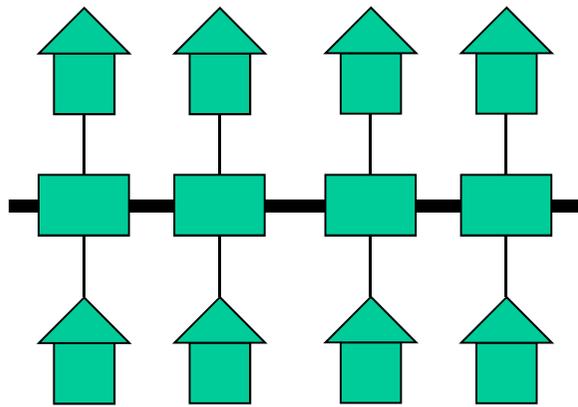
(インフラを節約? → 新規顧客獲得不能)



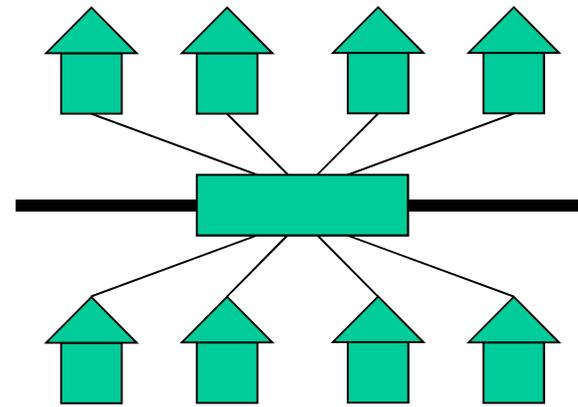
NTTの光化工事の実態

- 局舎から1000心ケーブルを1本だす
 - ケーブルは途中で分岐
- 各き線点(1000加入者程度)には20~40(最終的には200程)心しか到達しない
 - 各き線点まで1000心ひいても費用は同じ
- このままだとたかだか1 Gbpsを32人で共有する事態が長く続く
 - GPON(B-ISDNの亡霊)

PONは安いのか？



シングルスター



PON

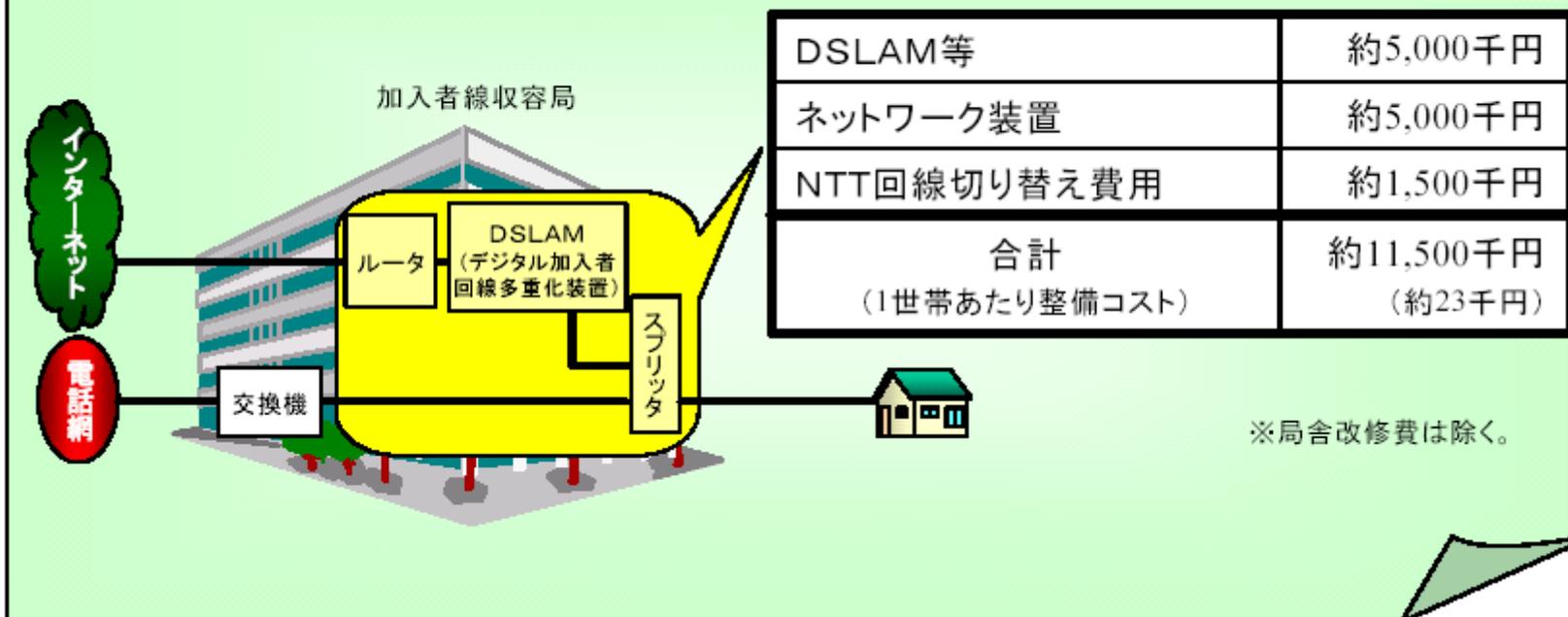
ラストマイル問題

- 費用のほとんどは敷設の手間賃
- 東京大阪間は1000Kmない
- 局と加入者の距離は5Km程度
 - 1局4万加入者として
 - 200心ファイバーを200本(総延長1000Km)
- ケーブルから家庭への引き込み線が25m
 - 4万加入者で1000Km
 - 加入者密度の低いPONは引込み線が長い

各ブロードバンドの整備コスト事例

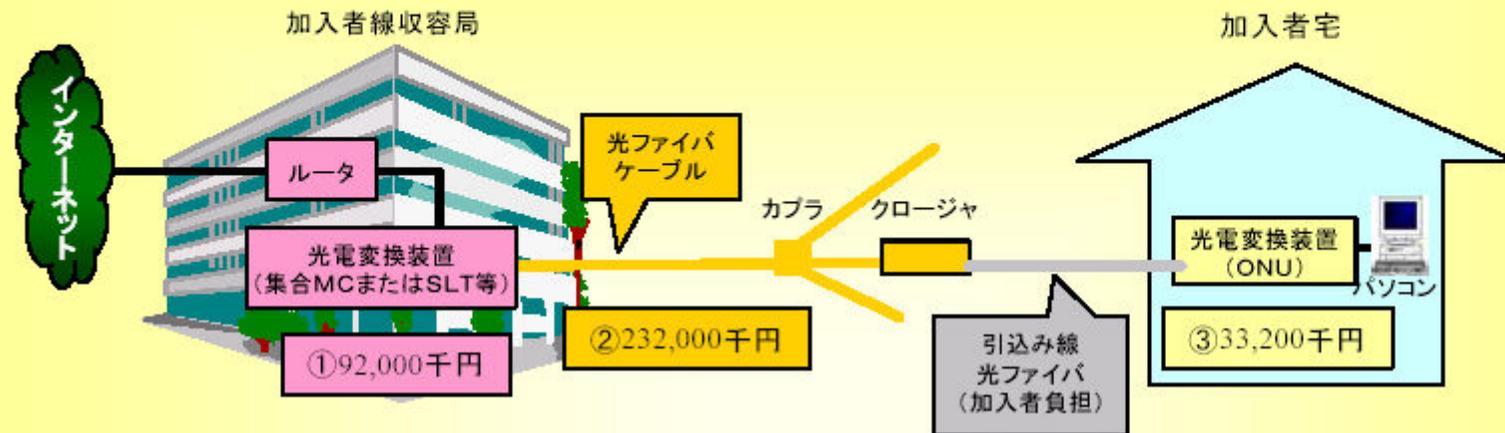
FTTH(PON方式、SS方式)、ADSL及び無線(FWA)について具体的な整備事例をもとに提示。なお、設備構成、世帯分布の状況、地形、局舎の状況等の諸条件によりコストは変動するので、あくまで例示として提示する。

ADSLコスト事例(1収容局、500世帯対象の場合)



http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/bb_seibi/pdf/041209_2_14.pdf

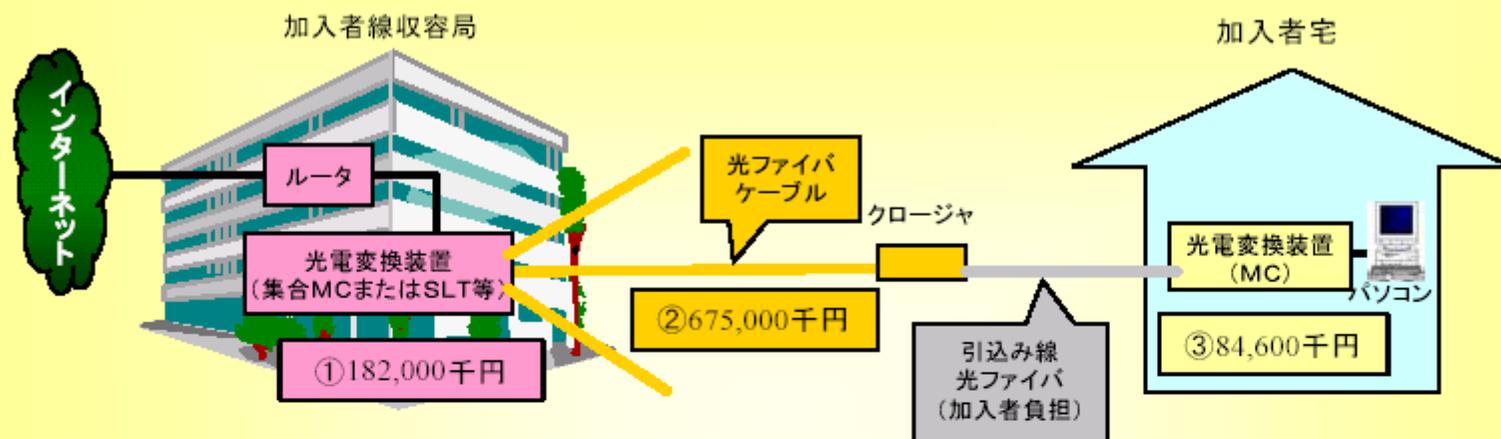
FTTHコスト事例①(整備対象世帯数:1,150世帯、PON方式の場合)



①センター装置 (SLT、ルータ等)	約92,000千円
②光ファイバ (工事費、材料費等) ※ケーブル長:51km、最大芯線:192芯	約232,000千円
③宅内装置 ※1,150台	約33,200千円
合計 (1世帯あたり整備コスト)	約357,200千円 (約311千円)

○ 人口約4,000人の自治体。(世帯密度は28.8世帯/km²)

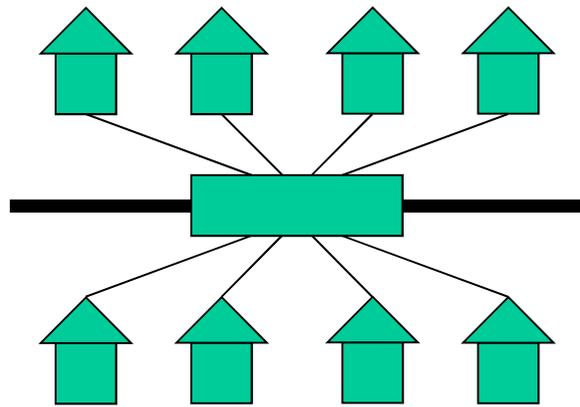
FTTHコスト事例②(整備対象世帯数:3,100世帯、SS方式の場合)



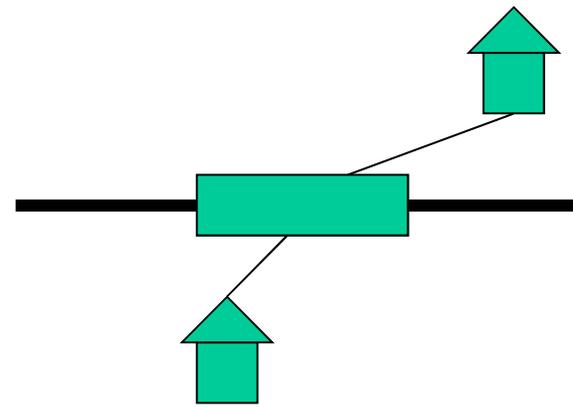
①センター装置(集合MC、ルータ等)	約182,000千円
②光ファイバ(工事費、材料費等) ※ケーブル長:221km、最大芯線:1,664芯	約675,000千円
③宅内装置 ※3,100台	約84,600千円
合計 (1世帯あたり整備コスト)	約941,600千円 (約304千円)

○ 人口約11,000人の自治体。(世帯密度は16.2世帯/km²)

PONの競争阻害性



シェアの大きなPON

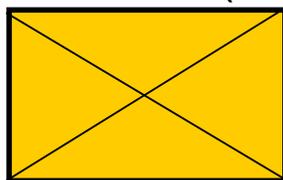


シェアの小さなPON

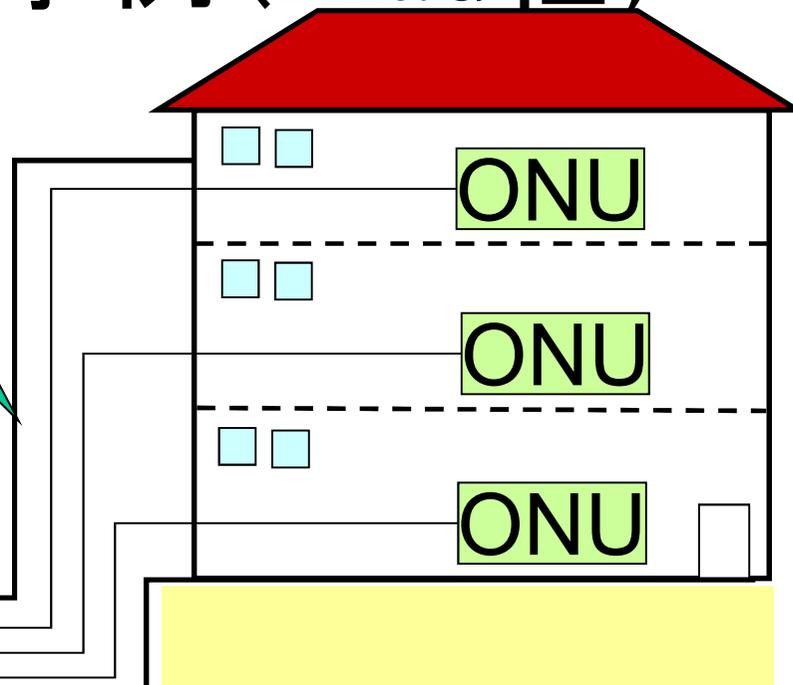
背景 SS方式の事例 (Iliad社)

仏のIliad社はPONの競争
阻害性を認識し、ビル内
部のダクトも含め世帯ごと
に光ファイバを敷設

Optical Node (NRO)



Ethernet Switch



ARCEPによれば、芯線
数の節約は、総コストに
ほとんど寄与していない
ことが伺える

CapEx per subscriber

<u>Infrastructure & buildings</u>	€1,000
<u>Optical cable</u>	€50
<u>In-house wiring</u>	€350
<u>Connection</u>	€100
<u>Active network components</u>	€300
<u>Active subscriber components</u>	€200
<u>total</u>	<u>€2,000</u>

PONの競争阻害性

光ファイバは狭い光配線区域内に8分岐単位での接続となるため、設備稼働率がサービス提供コストに大きく影響する。

■世帯に占めるブロードバンドユーザー比率 (※1)ADSL+FTTH

$$= \frac{2200\text{万加入}^{(\ast 1)}}{\text{全国 } 4700\text{万世帯}} = 47\%$$

■光ファイバの1光配線区域(30世帯を想定)におけるブロードバンド加入世帯

$$= 30\text{世帯} \times 47\% = \mathbf{14\text{加入}}$$

効率的に設備共用した場合

事業者A+B+C+Dで設備共用

$$\frac{8}{8} + \frac{6}{8} = 88\%$$

- ・参入事業者が増えても稼働率は低下しない
- ・設備共用によりコストは同じで競争中立的

現状(事業者毎に8分岐設備を利用)

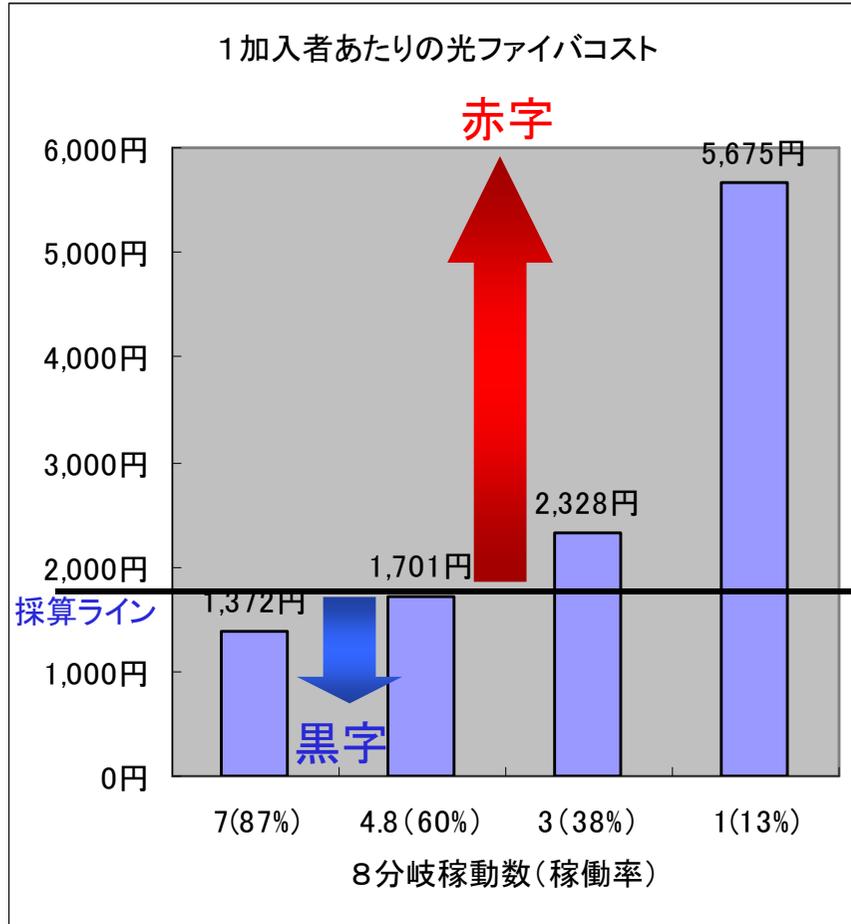
事業者A	事業者B	事業者C	事業者D
$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$
87%	37%	37%	13%

- ・参入事業者が増加するほど、個々の稼働率は低下し、コストが増加するため実質的な参入制限となる。
- ・獲得した加入者数によりコストが固定化し、稼働率を確保できない競争事業者は赤字でのサービス提供を強いられるため非競争中立的であり、独占性を助長する市場となる。

現状のFTTH市場は事業者毎に8分岐設備を利用しているため、構造的に公正競争が行われない状態にある

PONの競争阻害性

設備稼働率が低いと1加入者あたりの光ファイバコストが高くなる。



■1競争事業者の設備稼働率

13%(事業者D)

1加入者あたり **5,675円**

37%(事業者B、C)

1加入者あたり **2,328円**

87%(事業者A)

1加入者あたり **1,372円**

■NTT東西の設備稼働率

(接続料算定、Bフレッツのスタックテストにおけるコスト)

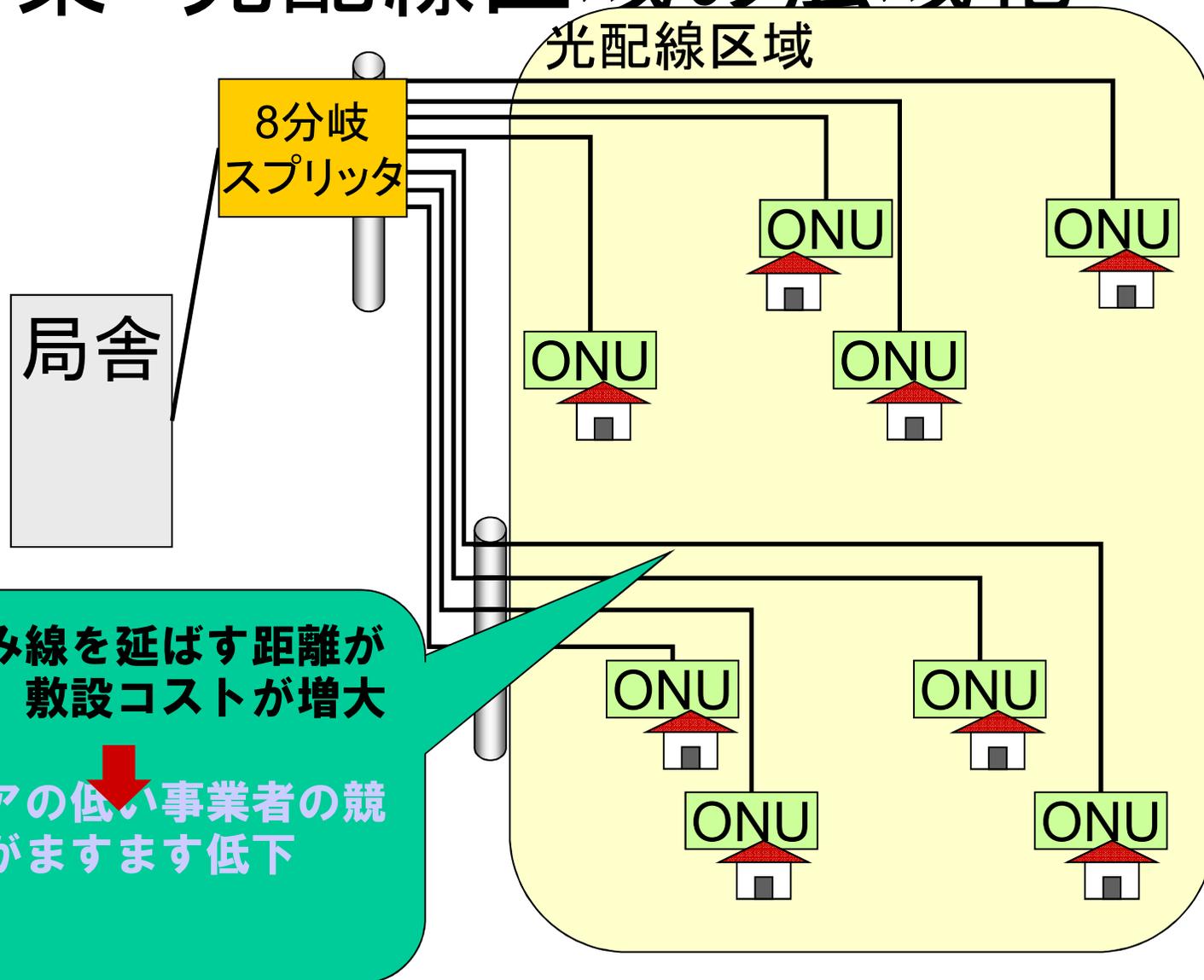
= **60%**(*1)

1加入者あたり **1,701円**

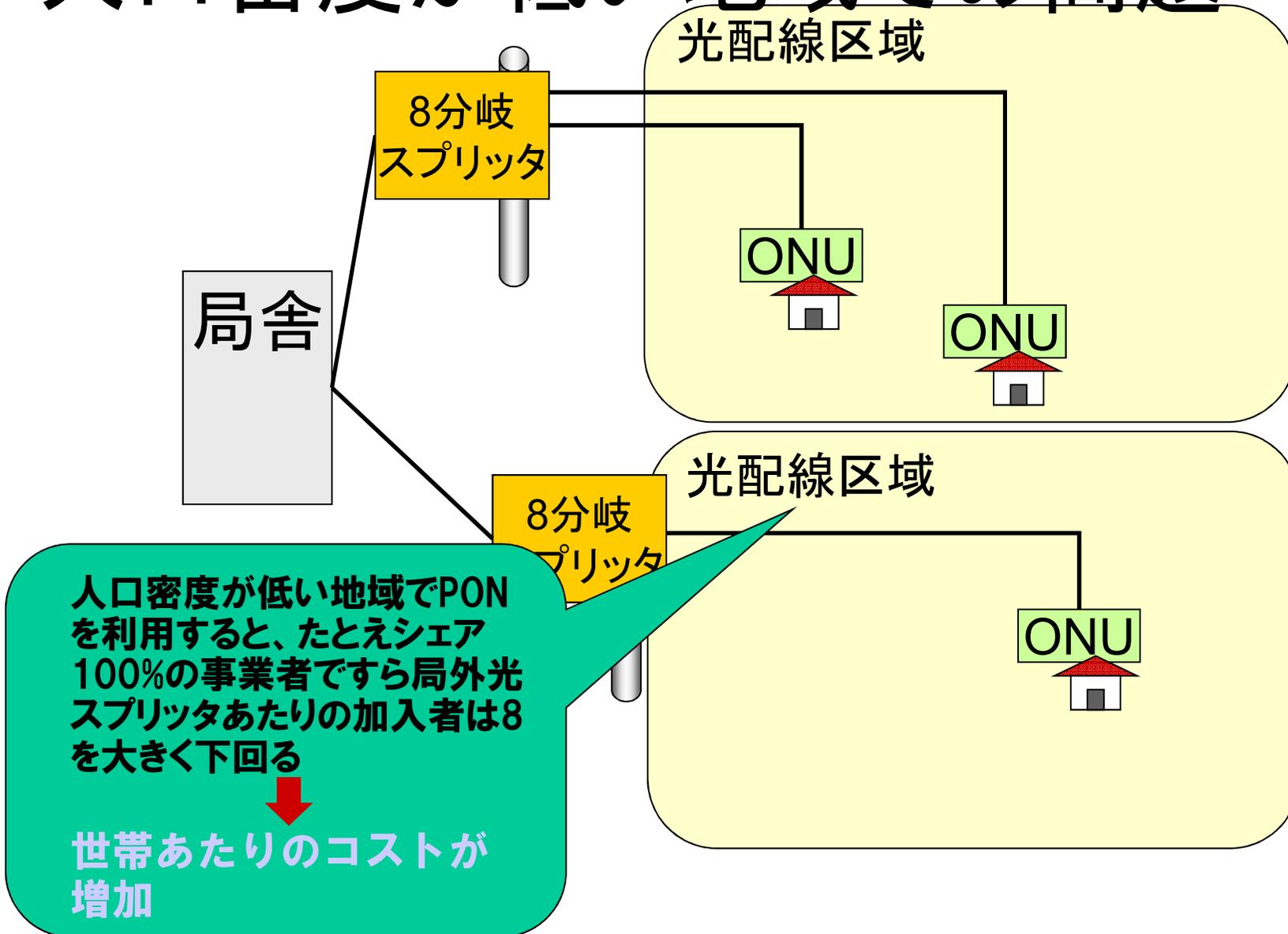
獲得した加入者数によりコストが固定化し、稼働率を確保できない競争事業者は赤字でのサービス提供を強いられる

(*1) http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030129_4.html

対策 光配線区域の広域化

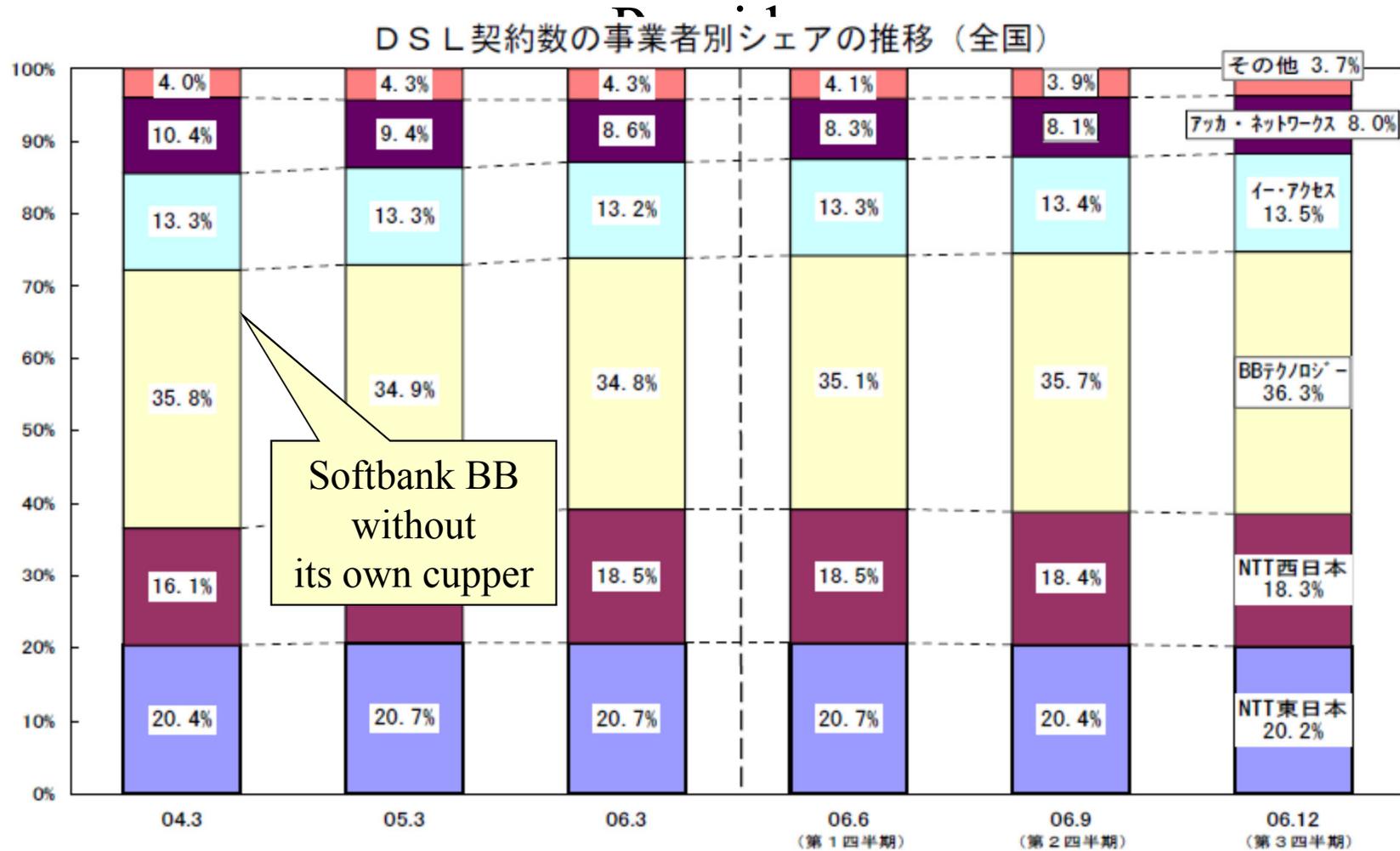


人口密度が低い地域での問題



DSL Services in Japan

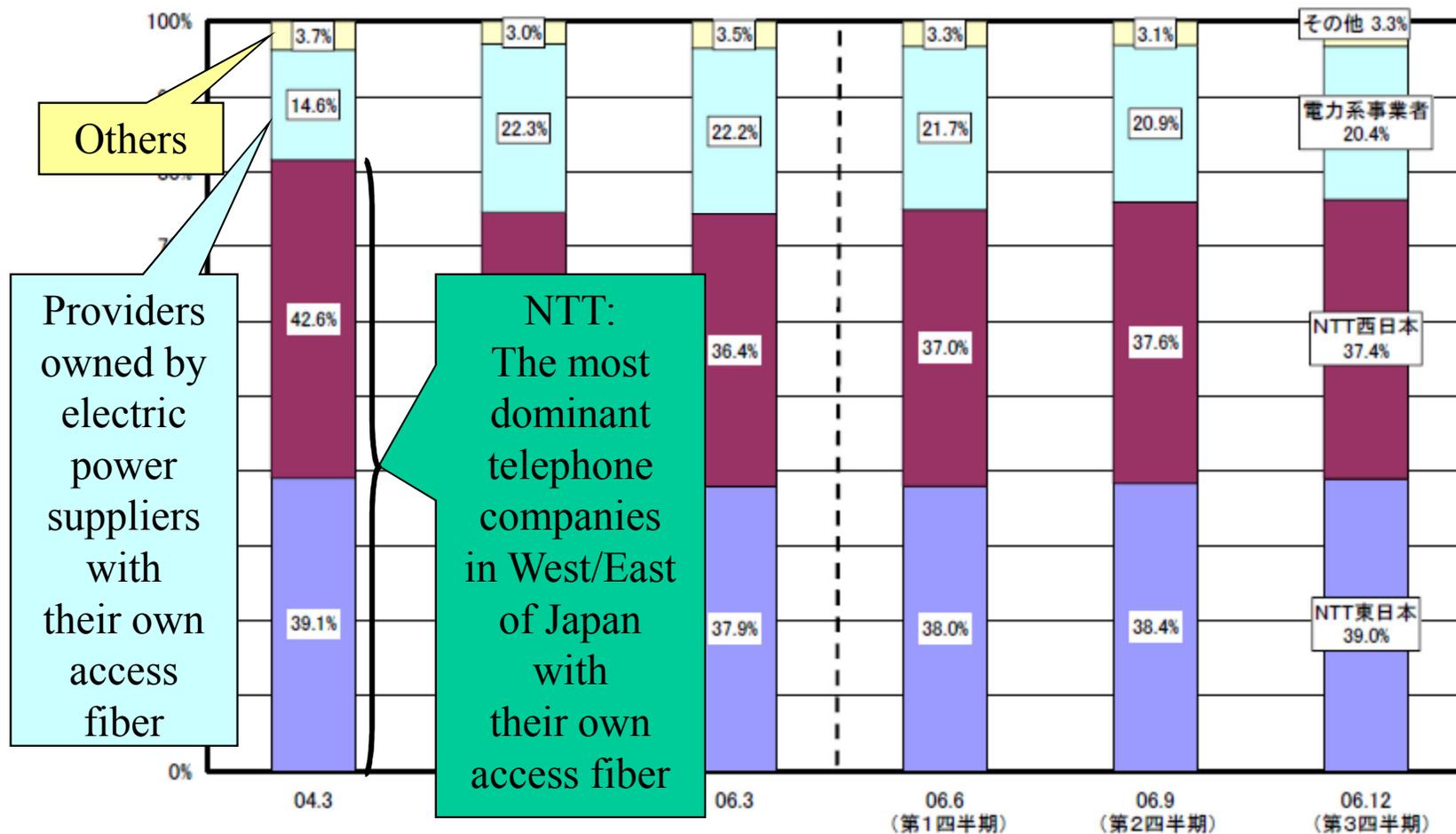
Highly Competitive between Multiple Service



FTTN Services in Japan

Dominated by Service Providers owning Access

F T T N 契約数の事業者別シェアの推移（戸建て+ビジネス向け）



提案方式1の考え方

1. 光ファイバにつながる加入者数に応じてアンバンドル料金を算定する方法

■ 従来の算定方法(加入者回線の月額料金)

$$\frac{\text{加算料相当コスト控除後原価}}{\text{芯線数 or 設備数}} \div 12\text{ヶ月}$$

||
光信号主端末回線の芯線数

■ 提案方式(加入者回線の月額料金)

$$\frac{\text{加算料相当コスト控除後原価}}{\text{需要が見込まれる回線数}} \div 12\text{ヶ月}$$

||

光信号分岐端末回線の芯線数

加算料相当コスト控除後原価	8267億3700万円
加入者回線	1773万9000本
稼働率	60%
引き込み回線	8514万7200本

表 提案方式による月額アンバンドル料金

スプリッタ ごとの回線 数 (単位：本)	アンバンドル料 金 (単位：円)
1	810
2	1,619
3	2,427
4	3,238
5	4,046
6	4,855
7	5,664

インターネットの今後

- 光ファイバーが中心
 - 圧倒的な速度(1心で1Tbps以上)
- 無線も捨てがたい
 - 無線幹線網(一対多通信)
 - 衛星インターネット放送
 - 放送網のコンテンツがキラーアプリに
 - 無線アクセス網(配線不要)
 - 携帯インターネット
 - 電話網のコンテンツ(電話)がキラーアプリに

電波とインターネット

- 近距離(小電力)
 - 多数の基地局を設置
 - IPモビリティと組み合わせて携帯インターネットサービスを実現
- 長距離(大電力)
 - 1対多通信には電波は最適
 - 衛星インターネットは速い？

放送網

- 音声、画像を実時間で多数に伝送する網
 - 伝送帯域を確保
 - 遅延を最小化
- 電波による広域一対多通信
 - ブロードキャスト／マルチキャスト
- 放送法による保護

衛星インターネット放送

- IPパケットを電波にのせる
 - 単なる衛星デジタルではない
 - 家庭内のIP網ともスムーズに統合
- あくまで一対多
 - インターネットでの一対多通信はマルチキャストで
- IPマルチキャストパケットを電波にのせる

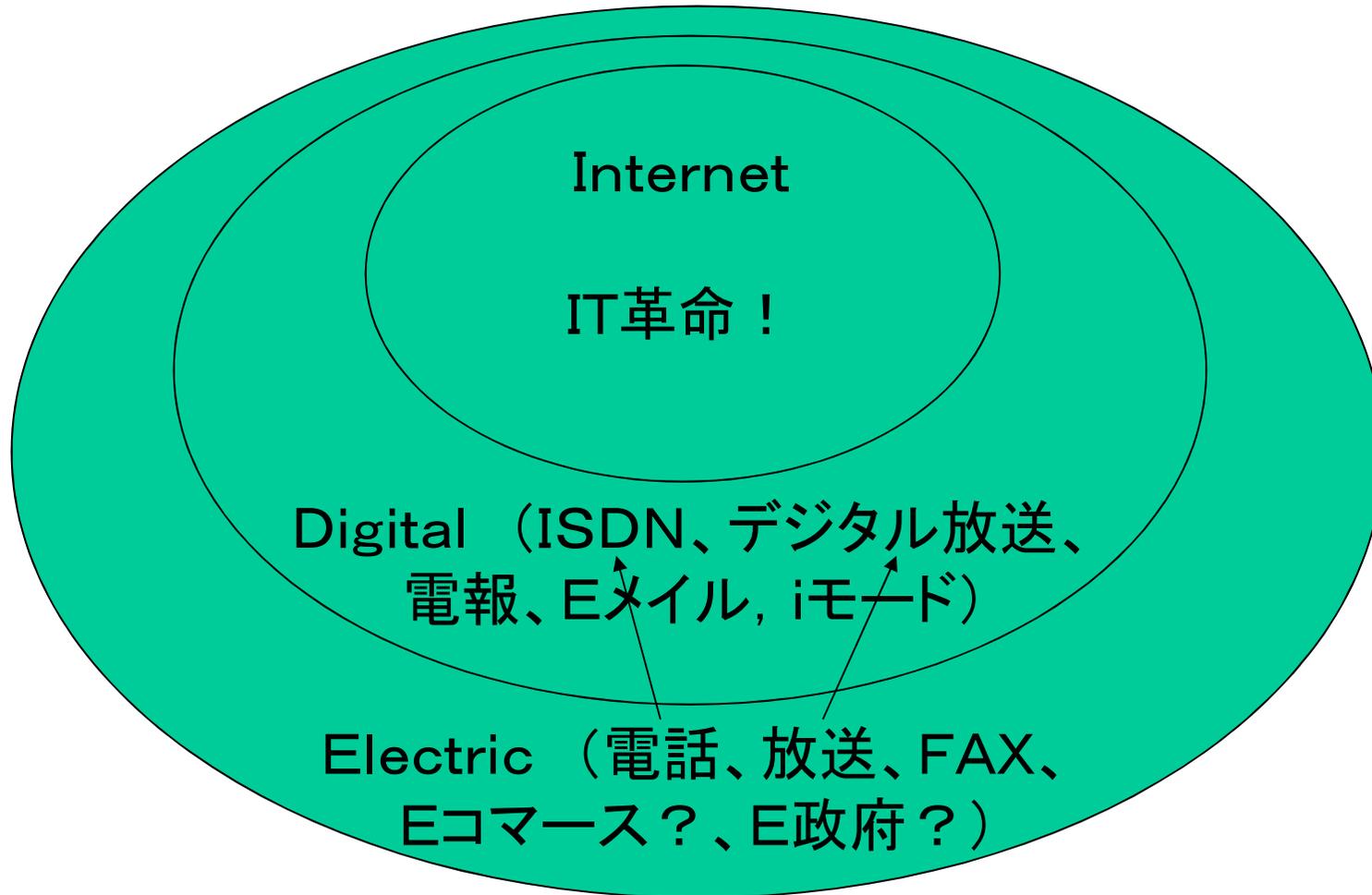
君も衛星で高速インターネット？

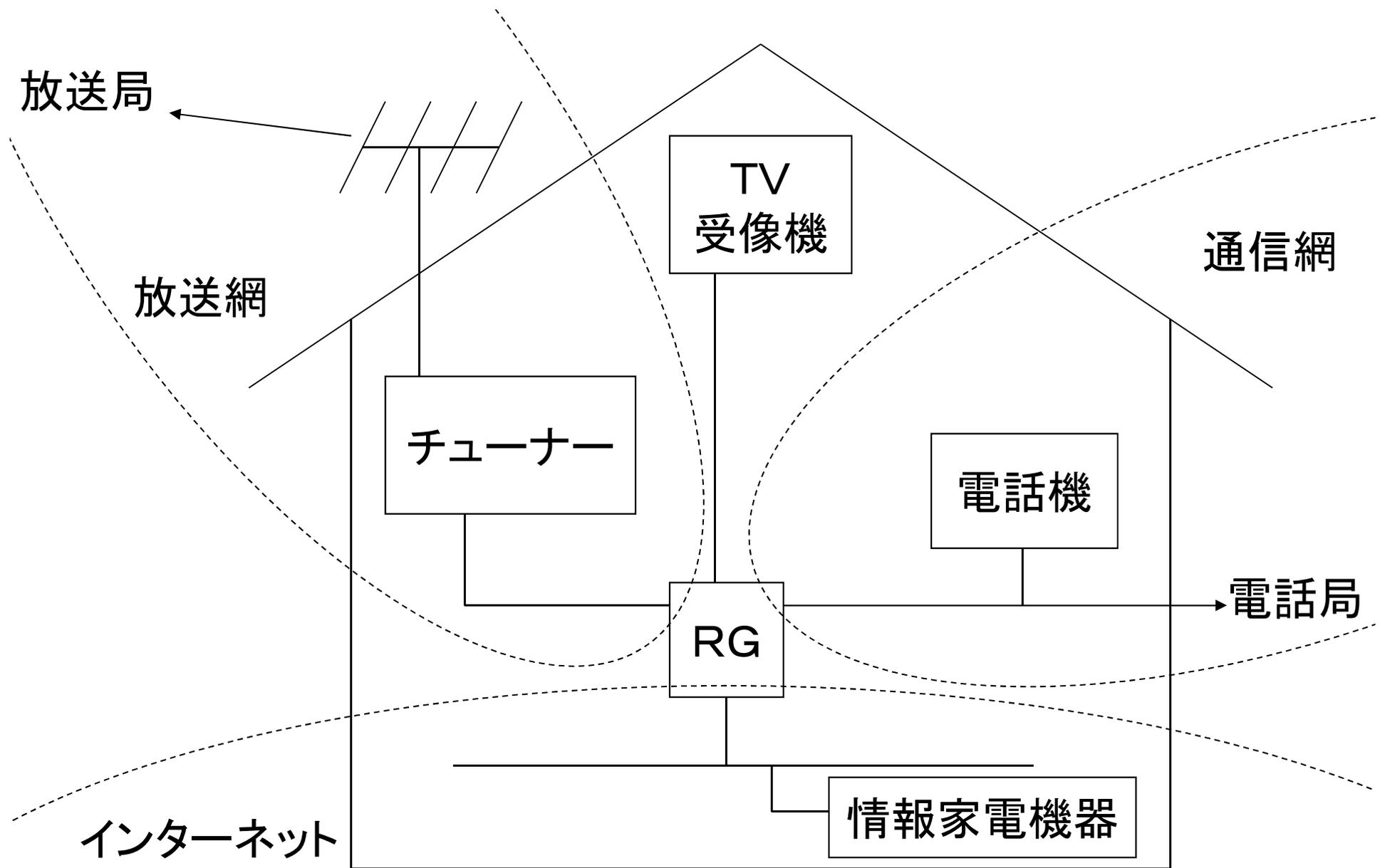
- 衛星通信は高価
 - 数十Mbpsで年数億円程度(定価)
 - 衛星は大勢で利用しないと
- 衛星通信で大勢の対一通信は無理
 - $4\text{Kbps} \times 100\text{万} = 4\text{Gbps}$!
 - イリジウム(衛星携帯電話)は高額低速な携帯電話とすら競争にならず破綻
 - まして高速衛星インターネットの料金は、、、
 - 離島向けでは、一応商用化(高くて遅くても無いよりまし)

放送のインターネット化

- 放送のインターネット化
 - 放送の単なるデジタル化は、いまさら無意味
 - 情報通信放送網のインターネットによる統合
 - 家庭内網の統合には、放送データのインターネット化が必要
 - エンドツーエンド原理
 - つまり、電波上でもIPパケットを利用
 - IPマルチキャストパケットのみ

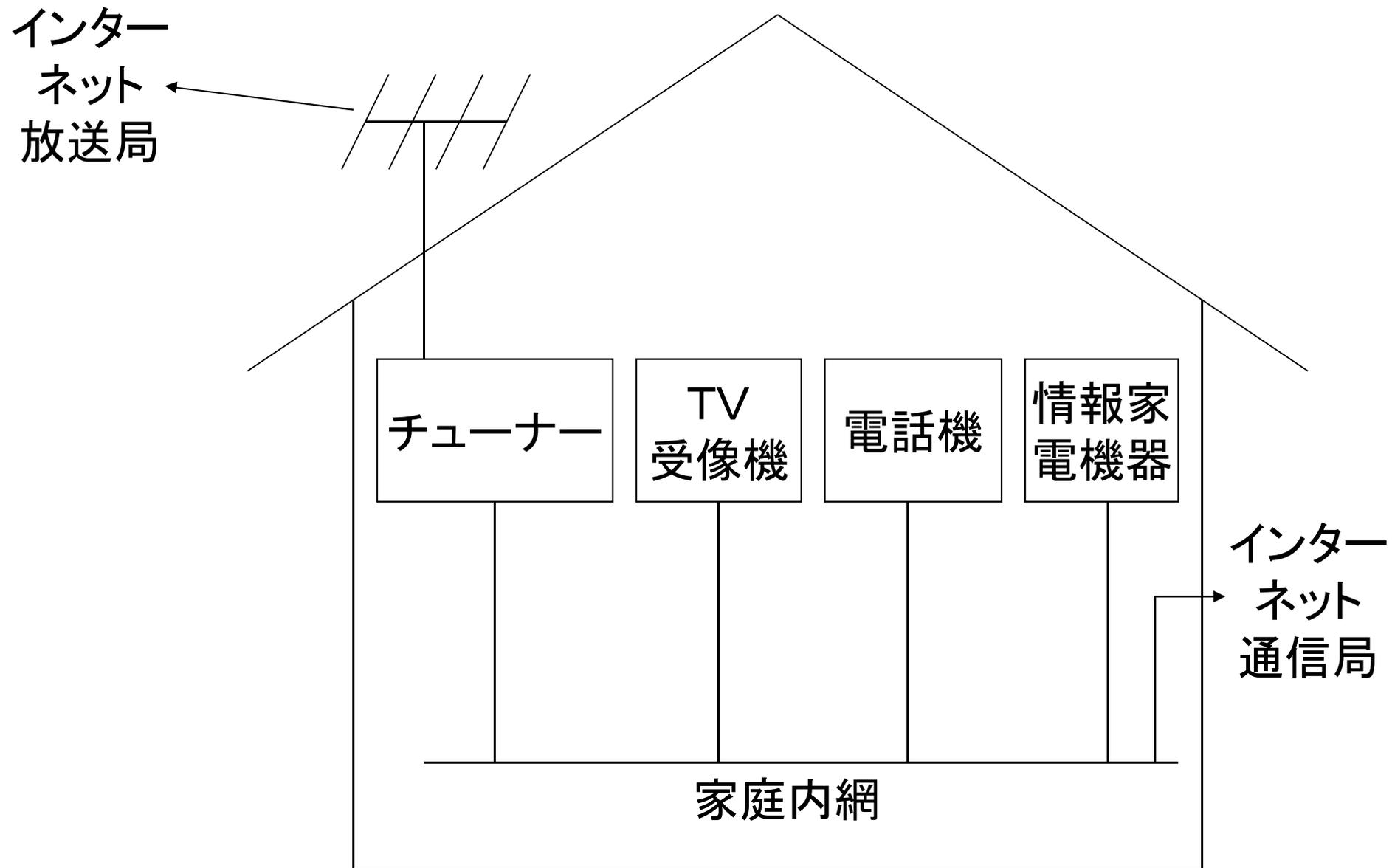
インターネットとは？(EとDとI)





RG:レジデンシャルゲートウェイ

通信網と放送網と家庭内網の統合？



インターネット化された家庭内網

携帯インターネット

- 携帯電話網は電話網ではない
 - 128バイト0.3円だと、64Kbpsで1秒20円
- 高速低額常時接続定額の固定インターネットに無線機を接続すると
 - 高速低額常時接続定額の無線インターネット
 - 無線区間のセキュリティには一工夫必要
- IP mobilityとの組み合わせで携帯インターネットに

携帯インターネット

- 無線インターネット+IP mobility
 - 無線による同一基地局内の自由な移動
 - IP mobilityにより、基地局の移動後も同じIPアドレスが使える、TCP接続なども保たれる

無線インターネット

- 固定インターネットが大前提
 - 速くて安くて定額制の固定インターネットに速くて安い無線機を接続すると
 - 安くて定額制の無線インターネットが実現
 - 無線機の密度を十分高くすると
 - 速くて安くて定額制の無線インターネットが実現

無線インターネットの 技術的課題

- 無線は不特定多数が使える
 - 認証
 - 誰もがいつでもどこでもインターネットをつかえるのはいいが
 - どの誰なのか身元がわからないのは困る
 - 犯罪捜査
 - 課金
 - 暗号化
 - 本来はエンドツーエンド
 - 無線上でパスワードを入力するような場合に便利

周波数オークション

- 供給を十分にしないと独占の是認になる
 - 実は周波数はいくらでも余っているが無駄に使われていた
 - UHF放送やアナログハイビジョン
- 既得権者からもそれなりの料金徴収
 - 電波利用の占有周波数帯域と占有地域面積に比例した課金を行うべき
 - 現行の電波税は出鱈目(もっぱら局数に比例)

今回のまとめ

- インターネットの物理層は速いほどいい
- 物理層は光ファイバと電波のみに
 - 固定相手は光ファイバでほぼ無限の帯域を
 - PONのような複雑な物理・データリンク層は論外
 - 移動相手は電波しかない
 - 帯域をどれだけ確保できるかが今後の政策課題
 - 放送（一対（きわめて）多）も電波かも
 - 放送の単なるデジタル化は論外