

本講演の要点・見どころ

第2回講義

システム統合の考え方 —

ATM基本技術の思想と、NGN・5G/6Gへの継承

講義の要点

音声・データ統合（ISDN、ハイブリッド交換）から

ATM、NGN、MPLS、5G/6Gへの発展。

計算機技術に由来する階層化設計思想の継承と、

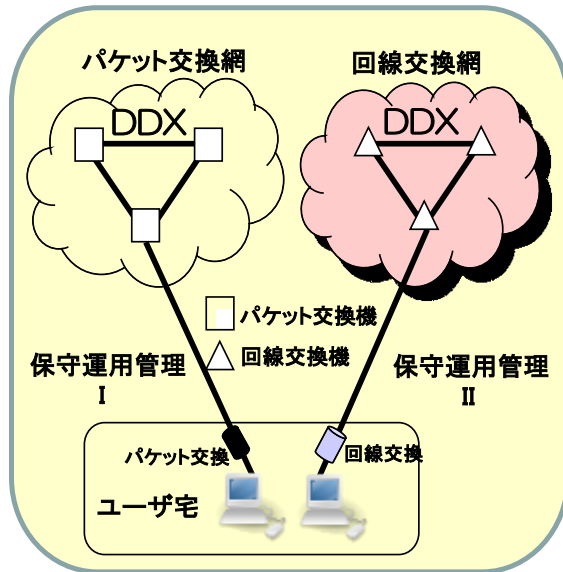
高度な通信品質（QoS）制御技術。

ここが見どころ！ ATM技術で培われたQoS・MPLSが
5Gにいかに受け継がれたか、その変遷の系譜。

回線交換モードとパケット交換モードの統合化の経緯 (データ通信系を主体に表現)

コンピュータ通信専用
のネットワーク

ISDN導入前

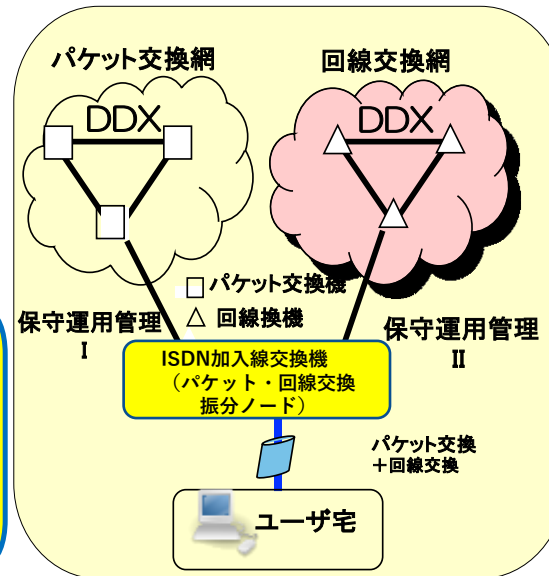


ISDN導入後

利便性の向上

ユーザ・網
インフェース
の簡略化

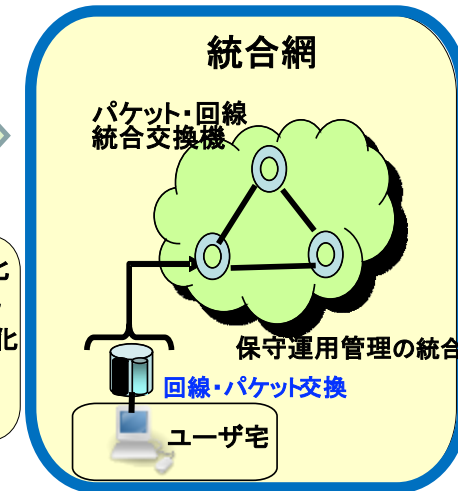
・通信モード
をユーザが
任意に使用



利便性と
経済性の向上

ネットワークの経済化
①運用管理費用の削減
②ネットワークの高能率化
③トラヒック変動に対応

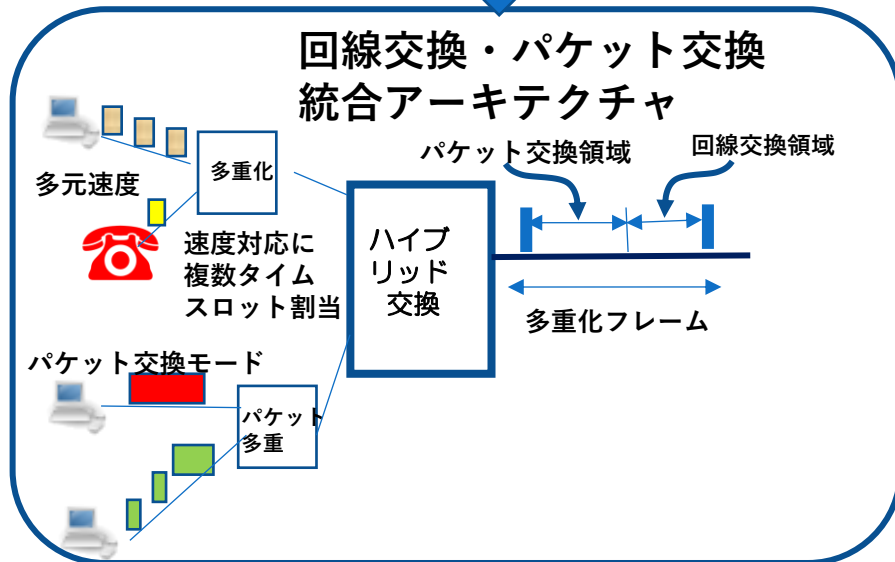
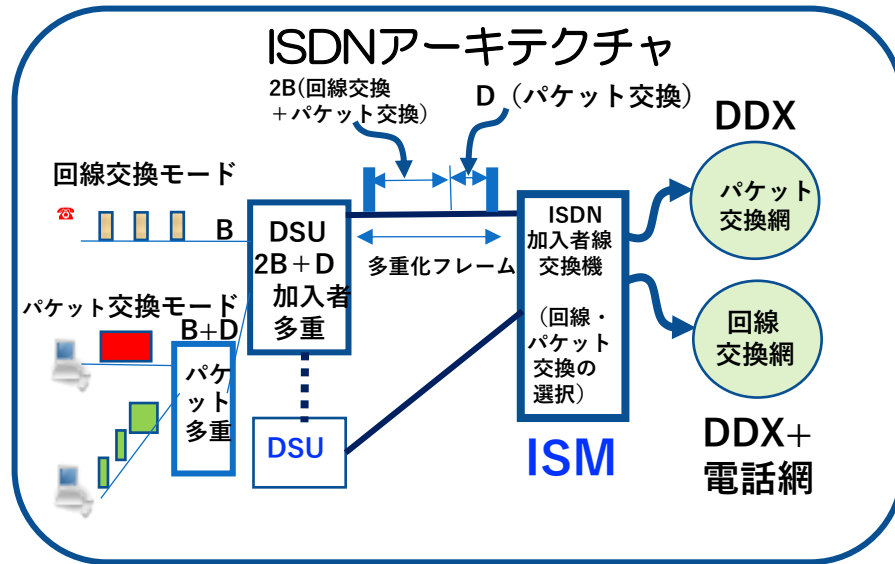
NGNの構想



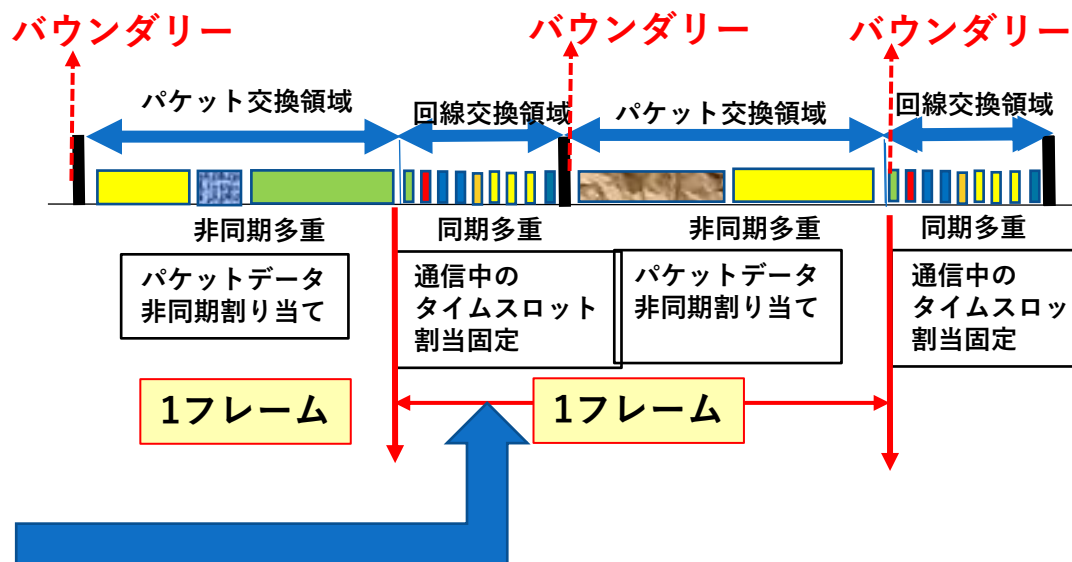
当時の課題

パケット交換網と回線交換網の統合化による利便性の向上
効果が求められていた。

ISDNネットワークアーキテクチャからの脱皮



(新しい)多重化フレーム構造



回線交換用/パケット交換用の
トラフィックの需要に応じて
多重化フレーム上の、境界は、
ダイナミックに変動
→ムーバブル・バウンダリ式

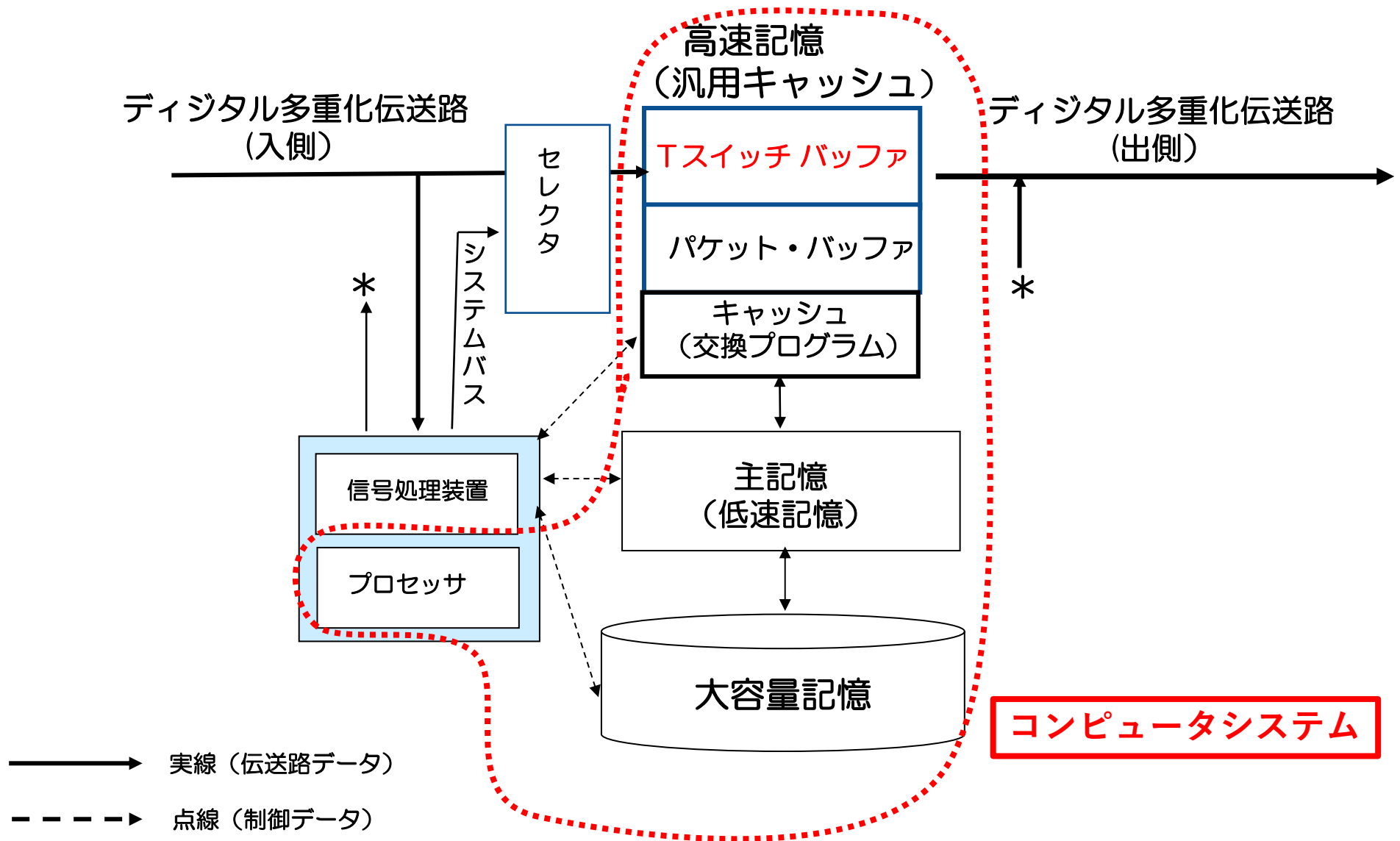
コンピュータの階層化・高速化技術

メモリの設計において、「速さ」と「容量 (安さ)」はトレードオフの関係にあります。すべてのデータを最速のメモリに置くことはコスト的に不可能

この矛盾を解決するため、コンピュータは記憶装置を「ピラミッド型の階層構造」に分割



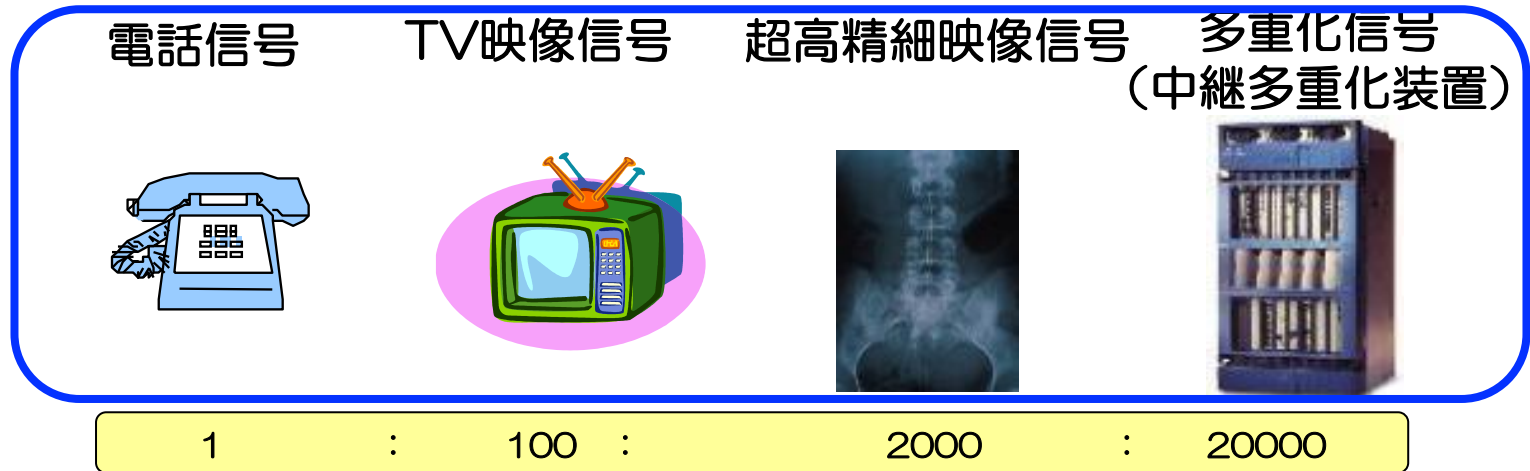
階層化アーキテクチャ用いた「ハイブリッド」交換ノード



ATM交換ノードの研究実用化

各種メディアの通信速度比較例

これらのマルチメディアを、それぞれの通信サービス毎に、適切な通信品質を維持しながら同時に**多重処理**する必要がある。



ATM方式の勧告化の経緯

遅延時間の観点からはセルのサイズは小さい方が望ましい



欧州案

4 バイト + 32 バイト
(ヘッダ) (情報フィールド)

64K b/sの音声^が48バイトのセルのペイロードを満たす情報を発生するために要する時間は6 msec

情報転送効率の観点からはセルのサイズは大きい方が望ましい
(ヘッダ部の相対的な割合が小さくなる)



北米案

5 バイト + 64 バイト
(ヘッダ) (情報フィールド)

SMDS(Switched Multi-megabit Data Service)のLAN間接続の仕様に合致



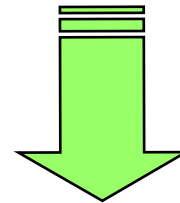
日本案

6 バイト + 66 バイト
(ヘッダ) (情報フィールド)

将来の拡張に備え、十分なヘッダ容量を確保

ATM:Asynchronous Transfer Mode
: 1985年CCITT

ATD:Asynchronous Time Division
(仏CNET: 実験システムでは16バイト固定長セルの非同期多重化システムを完成)



バーチャルチャネルの方式に、バーチャルパスの概念を追加

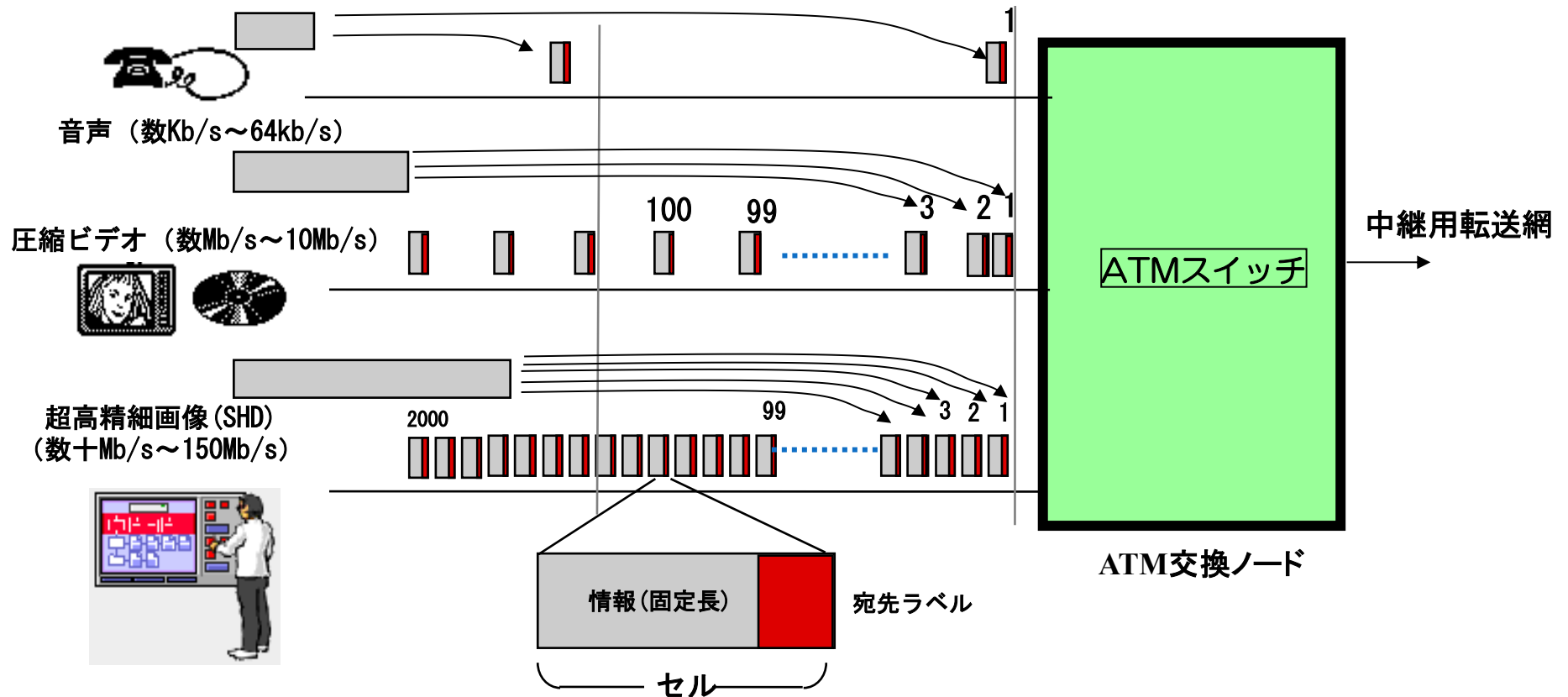
5 バイト + 48 バイト
(ヘッダ) (情報フィールド)

1988年CCITT勧告
(現在のITU-T)

ブロードバンド通信 (B-ISDN) へのATM技術の適用例

特徴

- ①ATM通信モードでは通信情報を**固定長の情報ブロック (53バイト)** に分割して転送.
- ②ATMセルの発生頻度により**各種マルチメディア**の効率的な転送を実現.
- ③交換ノードの入出力側において,各種メディア毎のトラフィックの**品質制御 (QoS)** を実現.



ATM交換技術がもたらした3つの革新



53バイト固定長セル

情報（48バイト）とヘッダ（5バイト）の固定長化により、ハードウェアによる超高速な非同期スイッチングを実現。



5バイトヘッダ
(VPI + VCI)で経路制御
PTでQoS制御



大容量・高品質な伝送

超LSI技術、高度なトラヒック制御、光伝送技術の結集により、高速かつ損失のない安定した通信を保証。



5つの要求品質（QoS）への対応

固定速度、可変速度からコネクションレス型まで、メディアごとに全く異なる通信要件（遅延・損失）へ柔軟に対応。

ATMセルヘッダ（5バイト）部の構成

ヘッダ部の機能	GFC	Generic Flow Control：一般フロー制御 通常は未使用：“0 0 0 0”の設定（元来は,各端末から送出されるATMセルの衝突を防止し,端末が伝送路を平等に利用できるようにするための競合制御用）
	VPI	Virtual Path Identifier：仮想パス識別子 どの仮想パス（VP）を使用するかを示す識別子（ルーティング用情報の一部を構成）
	VCI	Virtual Channel Identifier：仮想チャネル識別子 仮想パス（VP）内で,どのチャネル（VC）が使用されているかを示す識別子（ルーティング用情報の一部を構成）
	PT	Payload Type：ペイロード・タイプ ATMセルの48バイトのペイロード（ユーザー情報）部にある情報の種別を表示（ユーザー情報セル,保守運用セル,リソース管理セル等を指示）
	CLP	Cell Loss Priority：セル損失優先表示 トラヒックが輻輳している時,重要度の低いセルを優先的に廃棄し,重要なセルは,可能な限り,通過させることを指示するための識別子。CLP用情報=“0”の時,重要セルとして認識。
	HEC	Header Error Control：ヘッダ誤り制御 この1バイトを用いて,ヘッダの先頭の4バイトのヘッダ情報の正常性を検証。CRC（Cyclic Redundancy Check; 巡回冗長検査）を使用。

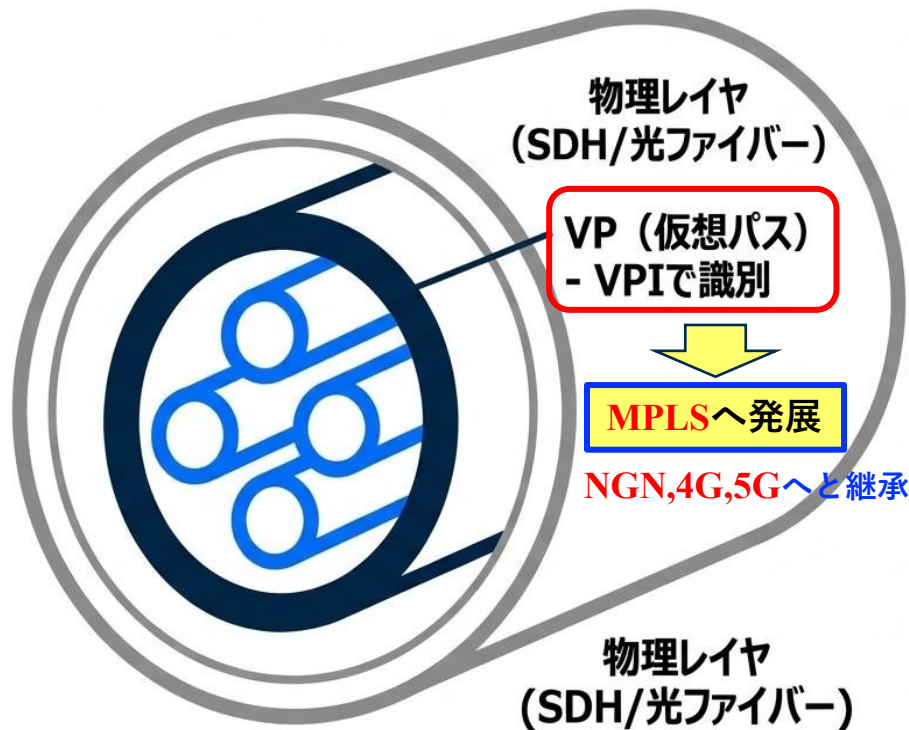
VP

VC

網の運用・管理の単位

ATMの多重化ハイアラーキ (巨大な土管の中に「仮想パイプ」)

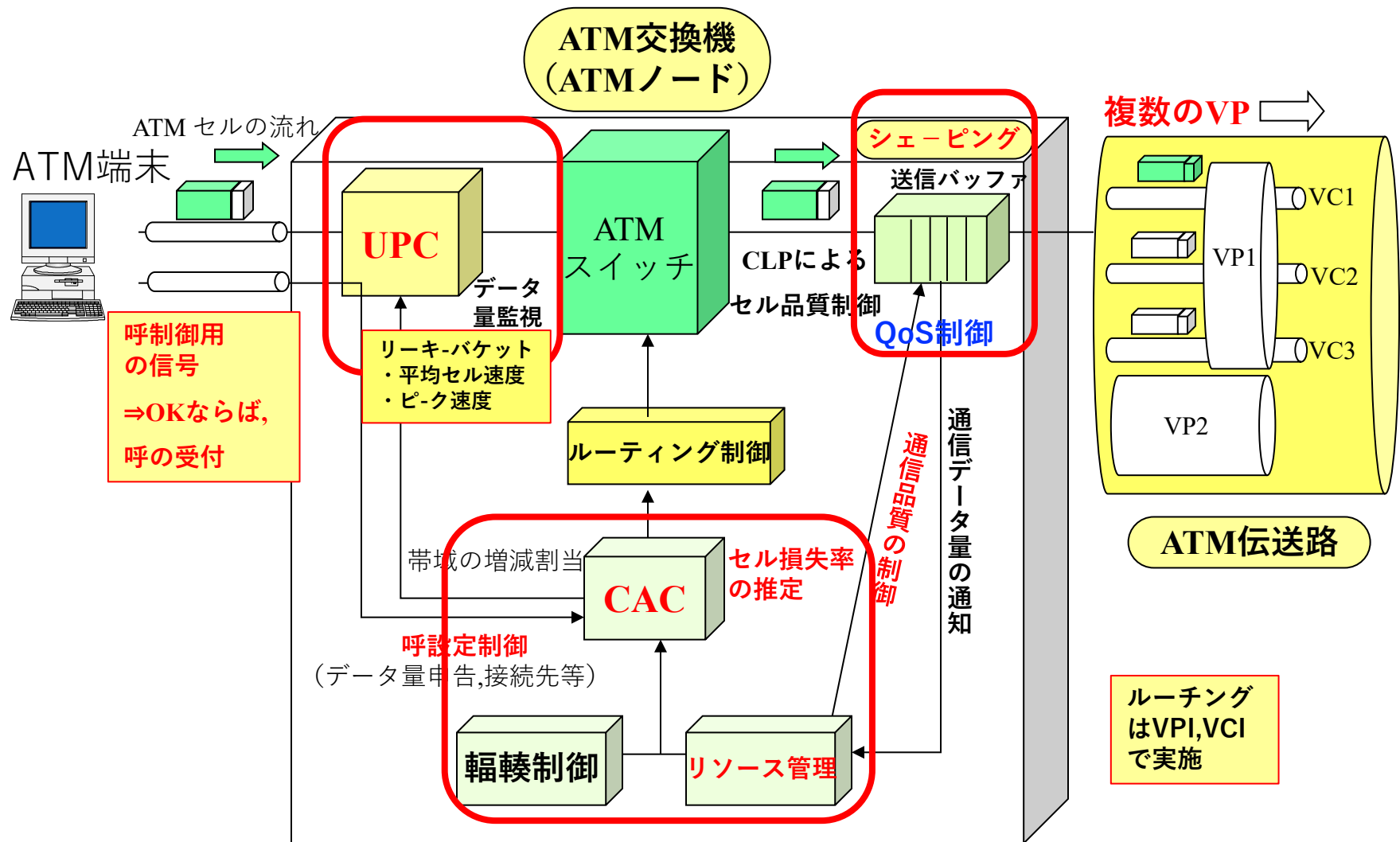
多重化ハイアラーキ：巨大な土管の中の「仮想パイプ」



IPルータ vs ATMスイッチ

IP側	ATM側
IPアドレス (32bit)	VPI / VCI 4 + 8
値が不連続・ 長い	直接キーとして テーブルルックアップ
ソフトウェアによる 複雑な最長一致 検索 (重い)	ハードウェアによる 超高速動作 (軽い)

ATMノードのトラフィック制御

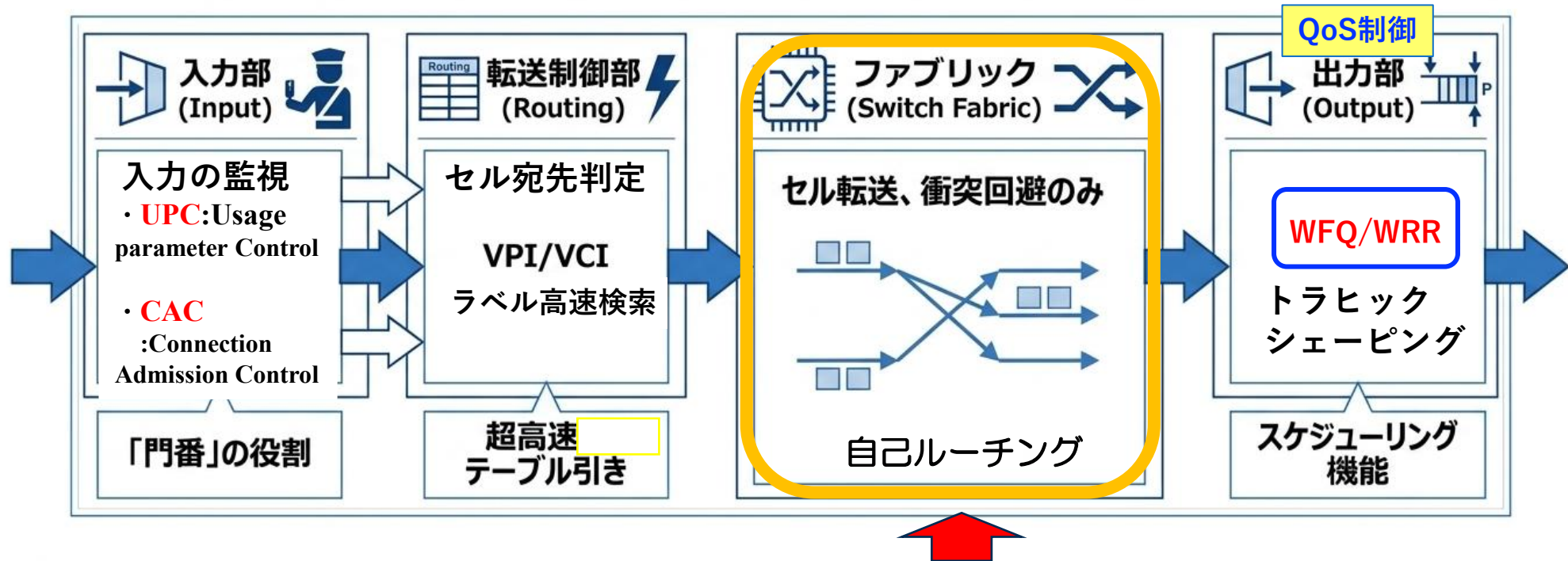


UPC: Usage Parameter Control, 使用量パラメータ制御

CLP: Cell Loss Priority, セル損失優先表示

CAC: Connection Admission Control, コネクション受付制御

ATMノードの内部構造：4ブロックの機能分離



複雑な制御はすべて両端（入力・出力）に押し出し、
中央（ファブリック）は極限までシンプルに保つアーキテクチャ

30年前：商用機としては、世界最高速(10Gbps)のスイッチアーキテクチャ

スケジューラの階層構造：厳密なQoS保証とベストエフォートの選別

5 GのQoS (5QI)

ATMのQoS思想をIPベースで再構成

GBR

ネットワークスライス毎に動的に生成

Non-GBR

GBR:
Guaranteed bit rate

厳密なQoS保証
(Strict QoS Guarantee)

VC(Virtual Channel)
単位のBit Rateを規定



Weighted Fair Queen (WFQ)
(高精度な公平トラフィック処理)

CBR
(Constant Bit Rate)

VBR
(Variable Bit Rate)

ABR
(Available Bit Rate)

UBR
(Unspecified Bit Rate)



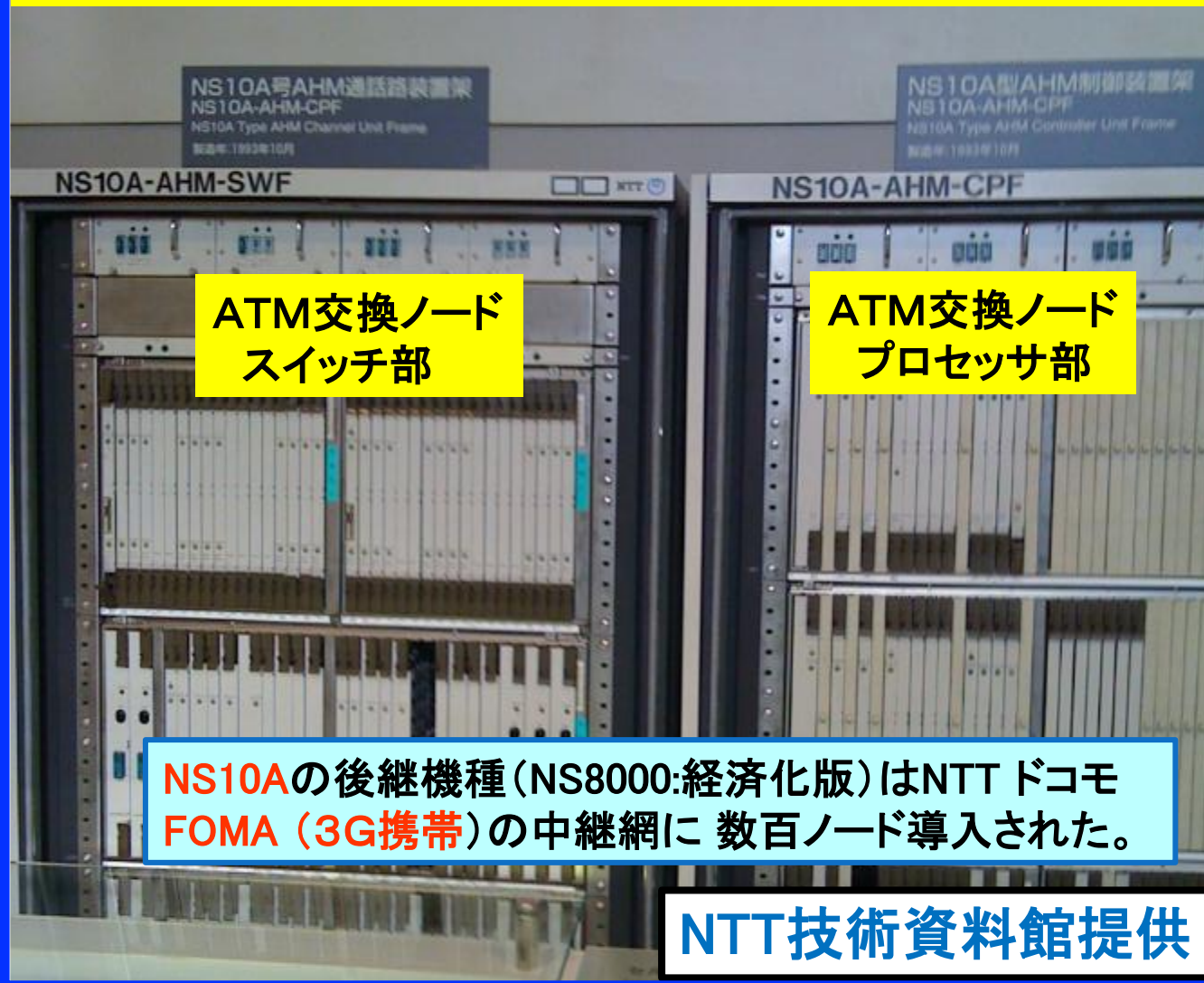
Weighted Round Robin(WRR)
(簡易なラウンドロビン処理)

ベストエフォート (Best Effort)

世界初の商用ATM交換ノード

- NS10A型ATM交換ノード-

NS10 : New Generation Node System for 10 Gbps



ATM交換ノード
スイッチ部

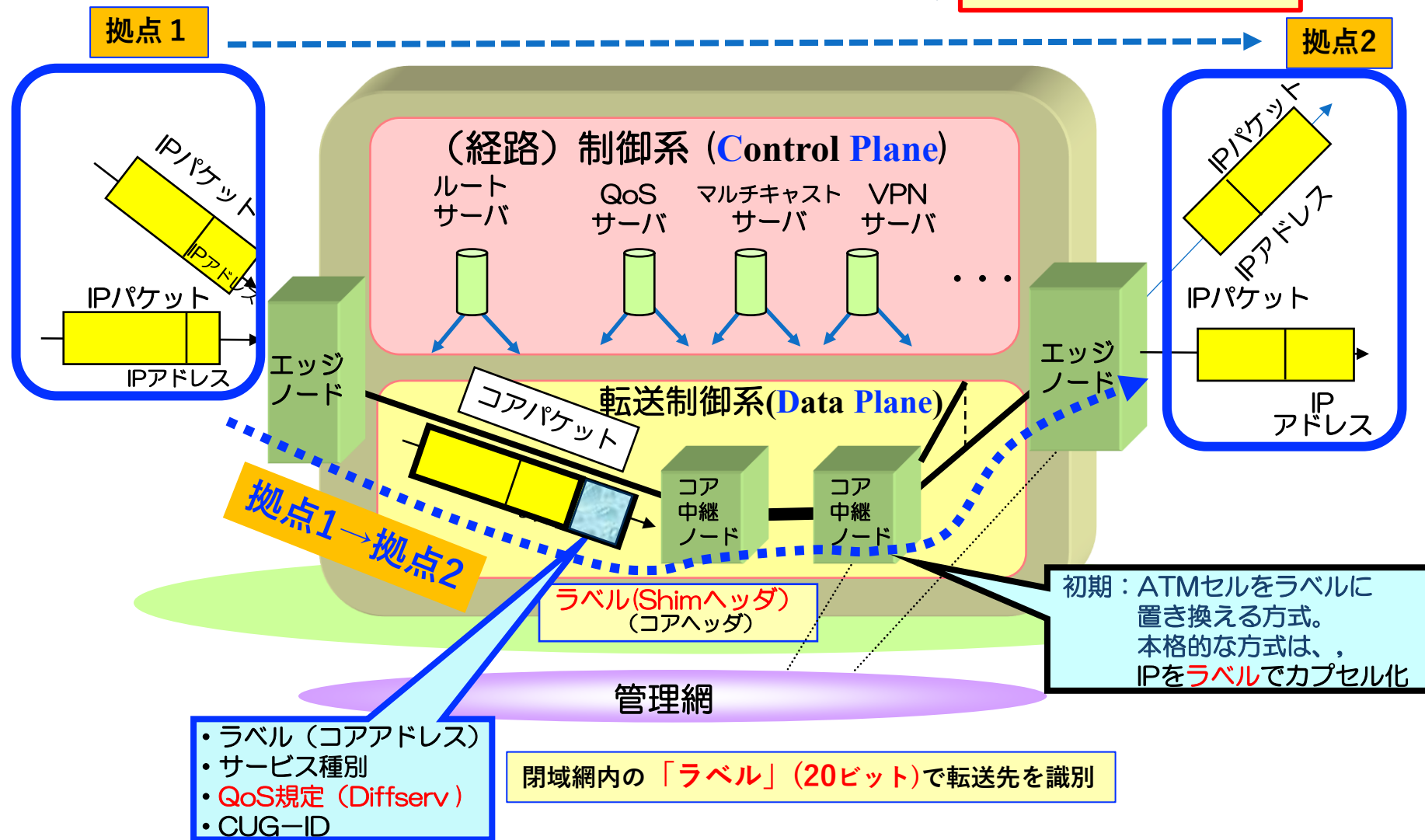
ATM交換ノード
プロセッサ部

NS10Aの後継機種(NS8000:経済化版)はNTT ドコモ
FOMA (3G携帯)の中継網に 数百ノード導入された。

NTT技術資料館提供

NGNにおけるCプレーンとDプレーンの分離 (呼制御系とデータ転送系の分離)

5G/6Gへ継承



MPLSの特徴

コントロールプレーンとデータプレーンと分離したアーキテクチャ

- ① IPパケット転送上の効率を最大限に高められる。
- ② スイッチ系と制御系とを独自に,発展させることが可能
ルーティング機能の簡易化



階層化の効果

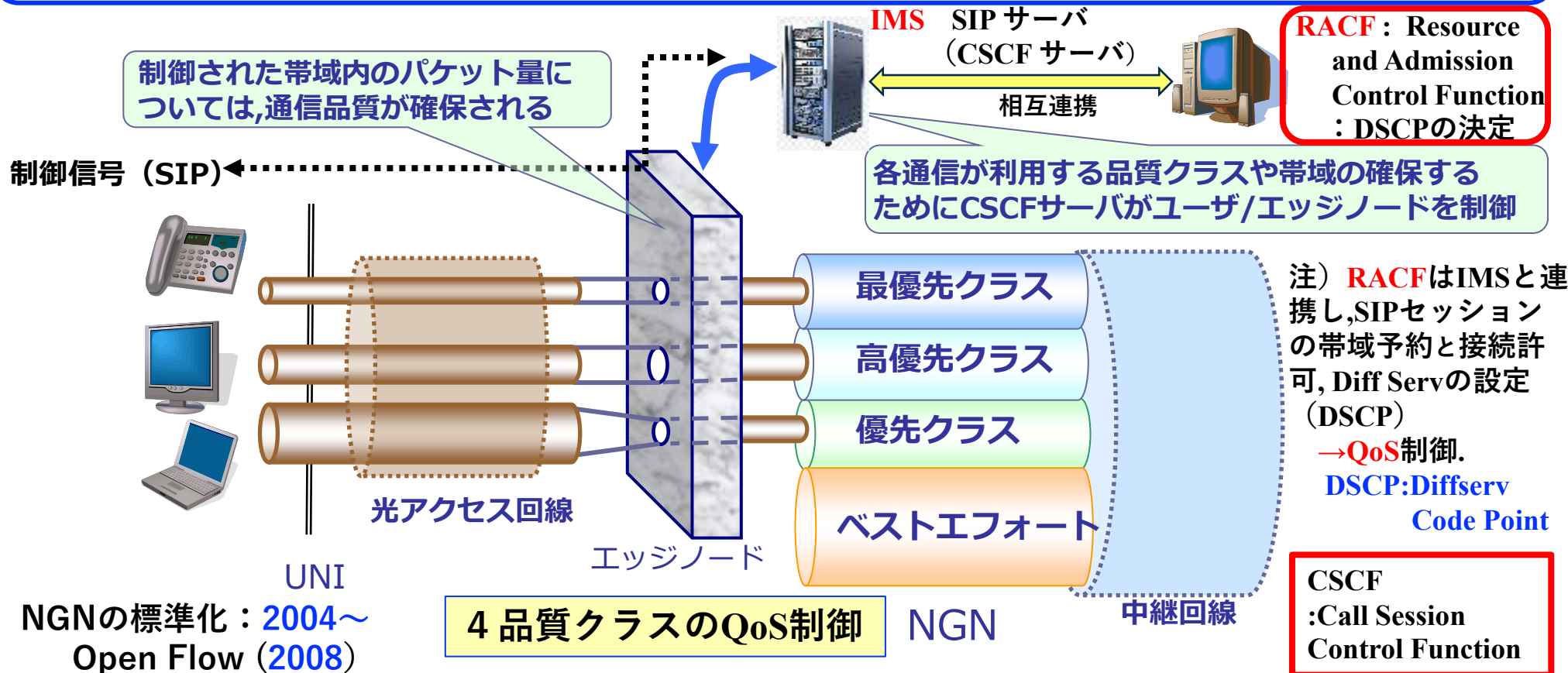
- ① トラヒックエンジニアリング（TE）の適用が可能
（MPLS網内のトラヒックの予測,トラヒック設計の容易化）
- ② トラヒックの負荷分散, 障害ルートの迂回等が容易
- ③ Diffserv等のQoS制御との連携が可能
- ④ IP-VPNの構成が容易
- ⑤ スケーラビリティの確保が容易

NGNにおける品質保証 (QoS) サービス

- アクセスする端末がパソコンでも携帯電話でも共に可能で, **IPとの整合性**を重視
- NGNのネットワーク制御は初期(2006~2010)は, 「**ATM+SDH**」で構成して**QoS**制御を実施. IPコア網により**SDN**の一部 (**CプレーンとDプレーンの分離**) が完成し, **IP/MPLS** による, 転送制御 (**MPLS-TE**) が実現された.

(注) ➡ **5Gコア網**では,NGN/4Gの技術を継承すると共に**クラウド利用による専用装置の仮想化 (SDN/NFV)**を推進.

IMS : IP Multimedia Subsystem



5Gサービスの指標(高速大容量・超低遅延・超多数接続)

5Gでは自動車・宅内機器・ウェアラブルデバイス等、あらゆる「もの」がインターネットにつながる世界を想定。

NGNのQoS制御技術をモバイルの5G向けに再構成したものと考えられる。

①高速大容量 eMBB(enhanced Mobile BroadBand)

最大で10Gbps~20 Gbps(ギガビット毎秒)の通信速度を実現
(2時間映画 3秒でダウンロード) 現在導入されている4Gにおける通信速度
0.1Gbps ~1G bpsと比較し、通信速度は20倍~ 100倍。
⇒4K,8Kなどの映像ストリーム(超高画質動画)が快適に利用可能。

②超低遅延 URLLC(Ultra-Reliable & Low Latency Comm.)

無線区間の遅延時間が1000分の1秒(1ミリ秒),
遠距離通信でも「低遅延」:当初のLTE(4G)の10ms遅延の1/10を実現。
⇒遠隔医療, 自動運転等, 精密機械のリアルタイム通信

③同時超多数接続 mMTC(massive Machine Type Comm.)

1平方キロメートル当たり100万個以上のデバイス(機器)を
同時に接続。4Gと比較して100倍以上の機器を同時に接続可能。
⇒社会のIoT化によりネットワークの「空気」化

農業センサー, スマートセンサ, 環境センサ, 医療センサ等

ネットワークの複雑化に対応する新技術の開発

NGNの基本設計思想を継承して5G用ソフトウェアを実用化

- 近年のネットワークではサービスが多様になり，当初は，多くの種類の専用装置が導入されてきた。
その種類/複雑化は増える傾向が益々，続いた。
- ネットワーク機器の複雑化 → 仮想化ソフトウェアによる，マイクロサービスの開発技術が必須となった。
 - ① マルチコアによるソフトウェアの並列処理の進展
→ ネットワークアーキテクチャの変革
 - ② Software-Defined Networking (SDN)
 - ③ Network Function Virtualization (NFV)

ネットワーク仮想化技術の進展

技術背景 ネットワークでの多彩な通信サービスの増加

(1) 処理系：マルチコアによるソフトウェアの並列処理の進展
→ ネットワークアーキテクチャの変革

(2) SDN： Software Defined Networking

① ノードの機能をルーティング転送機構（データ転送機能:Data Plane）
と制御機構（制御ソフトによるルーティング機能:Control Plane）に分離。

② ネットワーク機能をクラウド上のコンテナ/Kubernetes（マイクロサービス化）
を活用して、プログラマブルに追加・変更/制御する。
次のNFVの機能と一緒に使用⇒ 新しい通信サービスの開発を加速。

③ NFVはネットワークアプライアンス(Network appliance)のハードウェア機能を
ハイエンドの高速サーバの仮想マシン上に実装。
例えば、従来は専用ハードウェアで実現した IP-FW, ロードバランサ,
IDS/IPS(侵入検知/侵入防御), NAT, WAF(Web Application Firewall), 等の
ネットワーク機器のソフト化はネットワーク機器産業の構造を変えた。

（クラウドの活用によりネットワーク機能の実装→ベンダーロックインが弱まる）

5Gにおけるネットワークスライシングの実現イメージ

ネットワークスライスを選択し最適なリソース割当

QoS制御をサービス毎に付与するという設計思想

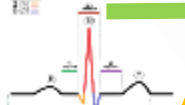
ネットワーク管理・
運用システム

①楽曲信号,
高精細画像の伝達



大容量画像等

②医療・生体情報の
IoT データ伝送等



③災害防止のための
リアルタイム観測, 自動運転



スライス
制御機能

MEC
Mobile
(Multi) access
Edge Computing

大容量画像の蓄積・転送

エッジノード

ネットワークスライス1
(大容量画像伝送)

eMBB

サーバおよびAI処理等

ネットワークスライス2
(IoTデータ集約・処理)

mMTC

光スイッチ

ネットワークスライス3
(超低遅延)

URLLC

5GのURLLCは現状ではMEC内に閉じた実現形態が現実解

6GではAPAN/光電融合によりEnd-EndのURLLCの実現

物理設備を共用

SDNスイッチ群

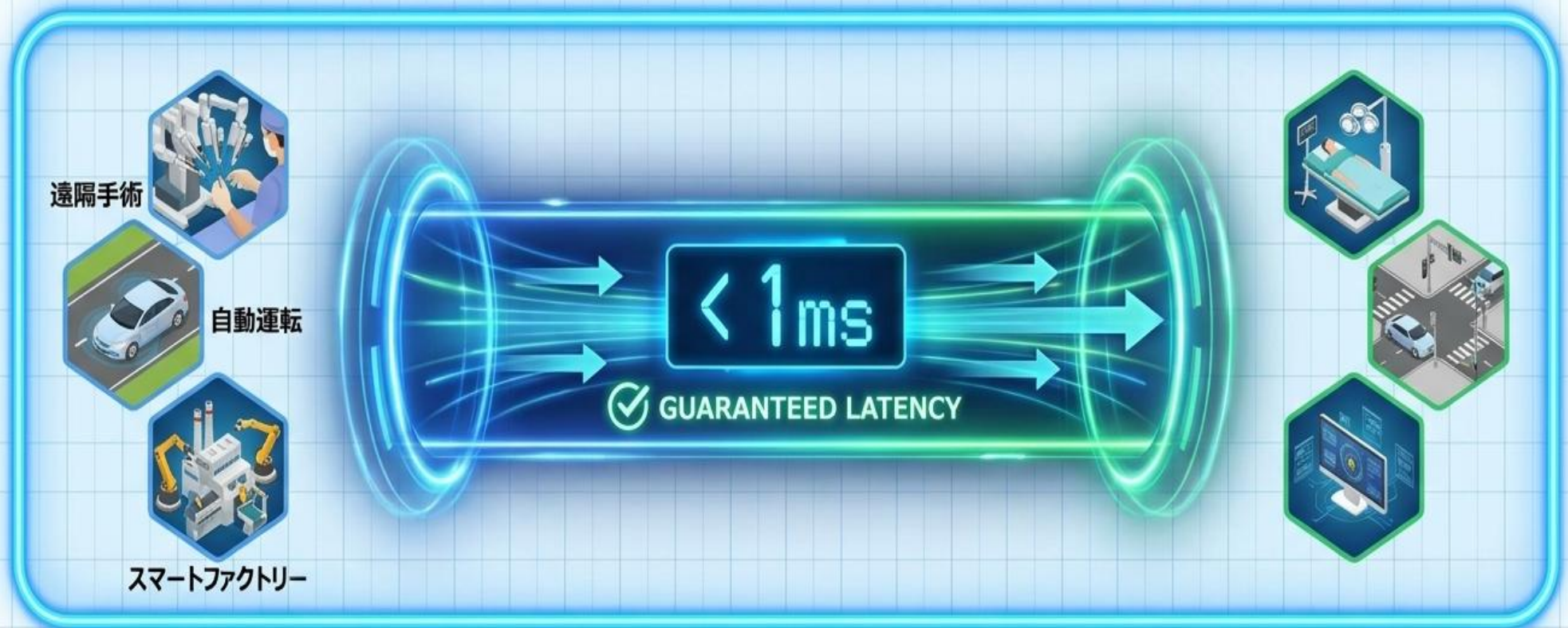
汎用サーバ

専用ASIC

汎用サーバ群

URLLCによる超低遅延の常時保証

(ミッション・クリティカルな近未来のサービス)



ミッションクリティカルなユースケース

- ・遠隔医療・手術
- ・自動運転・V2X
- ・産業用オートメーション

常時保証される通信品質

- ・エンドツーエンドで1ミリ秒以下の超低遅延
- ・高信頼性 (99.999%以上)
- ・キューイング遅延のない確定的通信

NGNから5Gへのネットワーク・ソフトウェアの進化

NGN

- **IP網とATM網の併存**から統合.
- 呼制御 (IMS) と伝送の分離 (**制御と転送を分ける設計思想**)
- 転送制御はMPLSで実現.
- **QoS制御の継承**
(ATMのクラス制御をIP向けにDiffServで実現)

4G

- NGNのソフトウェア構造を移動通信向けに最適化(**基本構造はNGN継承**)
- 制御の論理的な集中に加え、装置の分散配置を併用
- **移動端末単位のQoS制御**
(無線ベアラによる保証)

5G

- **NF(ネットワーク機能)のクラウドネイティブ化**— 仮想マシンからコンテナへ
- **NF間連携に共通基盤 SBA**を実装 (HTTP/2 + JSONによる**標準API**)
- ネットワークスライシングの実装 — **スライスごとに独立したQoS制御**

- ① **NGN** (制御プレーン/転送プレーン (C/D Plane)の**階層分離**の思想の確立)
NGNは電話網とIP網の統合を目的に,サービス制御層と伝送層を分離する設計法を確立した。この階層分離と**QoS制御**の考えは次の世代に受け継がれた。
- ② **SDN**では, **呼制御機能**を論理的には**集約**すると共に, 実装上の**配置**は**分散化**を並行して進めた。また**NFV**の段階的導入により, ネットワーク機能を専用装置から**汎用サーバ上のソフトウェア**へ移し,柔軟なネットワーク基盤を築いた。
- ③ **5Gコア**はネットワーク機能をサービス単位に分解し, 疎結合に連携させる**SBA**を採用し,実装は, コンテナによる**クラウドネイティブ化**を進めた。装置の配備/スケールアウト等は,**Kubernetes**と**MANO**が自動化することで,**ネットワークスライシング**を実現した。
- ④ **6G**ではAI・センシングの資源を一体として含めて扱う構想も検討されている。

QoS制御の進化史対比：ATMから5Gへの飛躍

判定の次元	【ATM】	【5G】
判定の次元	帯域（周波数）軸のみの静的判定	時間・空間・確率を含む多次元判定
ノードの連携	交換機単体の独立制御	SDN/MANOによるオーケストレーション連携
リソースの拡張性	物理容量内で固定	クラウド上のNW機能の動的スケールアウト
事後監視 - UPC	リーキーバケットによる廃棄/タグ付	UPFによるポリシング/シェーピング

5Gシステムの「核」は，“SMF-UPFのC/U分離” “SBAに基づくNF間シグナリング”にある。各種NFは実装上,CNF（クラウドネイティブ機能）として仮想化基盤に配備される。運用管理は、k8sとMANOが協調して実装。

ATMで確立した思想 → QoS、コネクション指向の制御
実装レベルは専用装置から汎用サーバに移行。