

企業での研究開発を経験して

ーデジタル信号処理からネットワークビジョンまでー

2022年5月20日

津田 俊隆

取り組みの流れ

ネットワークサービス(画像、音声)



コンポーネント(DSP, PCM CODEC LSI)



伝送技術(ISDN, 光通信)



ネットワーク(パケット/フォトニック/移動網)



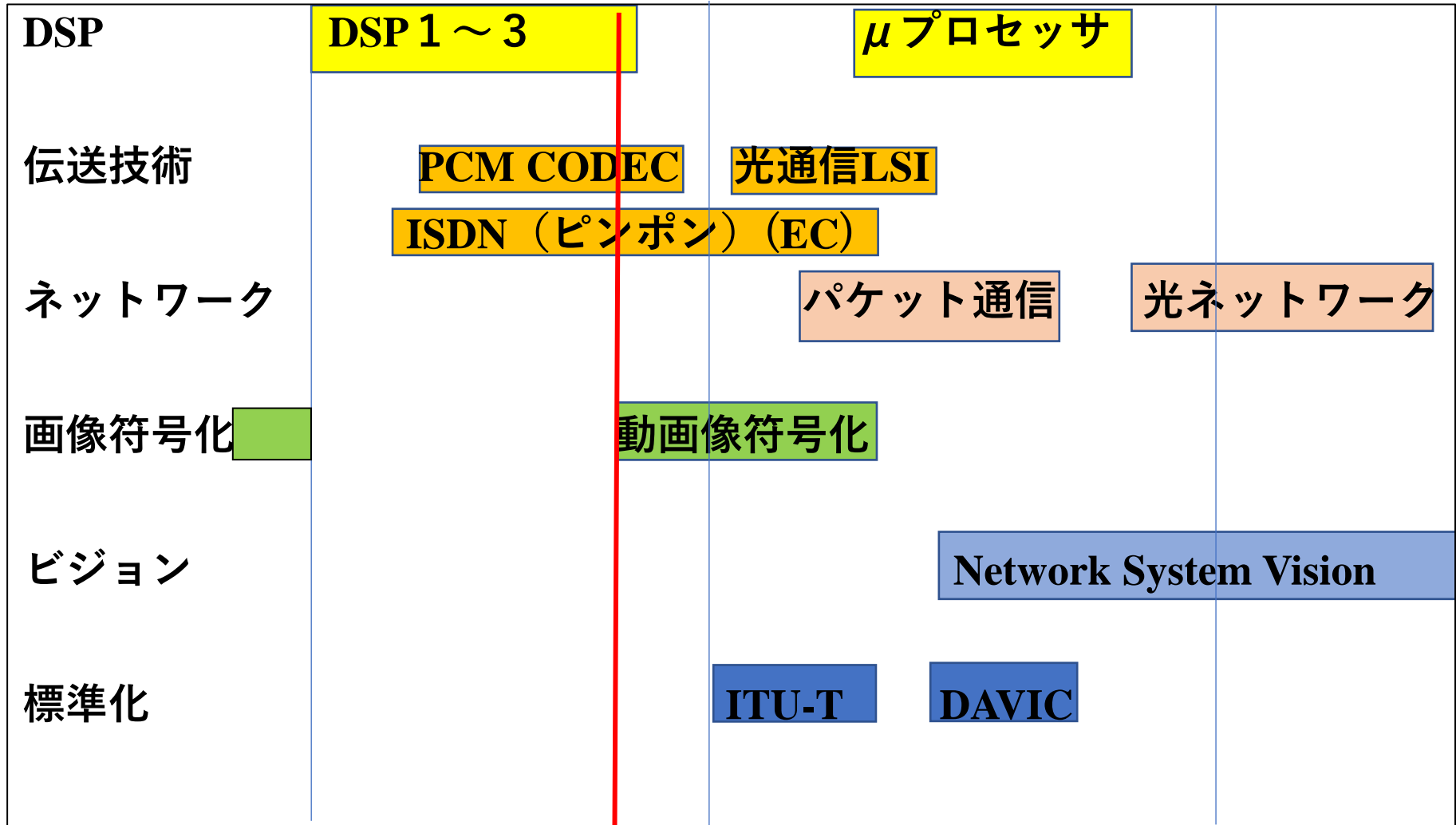
ネットワーク(ICT)システムビジョン

主な研究開発履歴

1975

1985

2000



本日の内容

1. デジタル信号処理関連
2. 伝送技術関連
3. 動画像符号化
4. ネットワークとビジョン関連
5. まとめ

DSP取り組み開始

- デジタルMODEMの製品化
- 世の中で手に入らなかったDSP LSIの開発
- 集積度・速度等様々な制約の中での取り組み
- 命令セット、ハードアーキテクチャから回路マクロまで設計
- その後広く使われるようになった先進的アーキテクチャを盛り込む

DSPの主な仕様

(最初のDSP LSI)

- 集積規模：1,500ゲート
- 演算器： $8 \times 8 + 12$ Bit累積乗算演算, 0.144MOPS,
- 外部ROM/RAM使用

(先進的アーキテクチャ)

- 累積乗算を基本演算
- 演算・データ転送並列実行命令
- 仮想シフト機能
- Loop処理の効率化
- パイプライン処理の導入 (DSP2, 1980年頃)
- 命令毎のユニット電力制御 (DSP2, 1980年頃)

累積乗算と演算・データ転送並列実行命令

ディジタル信号処理に多くみられる累積乗算処理

$$\Sigma (a_i \times X(t - iT))$$

命令シーケンス

当時のプロセッサ

Load A (a_0)
Load B ($X(t)$)
MPL Store (A)
Load B (Acc)
Add Store (ACC)

演算・データ転送並列実行

Load A (a_0), B ($X(t)$)

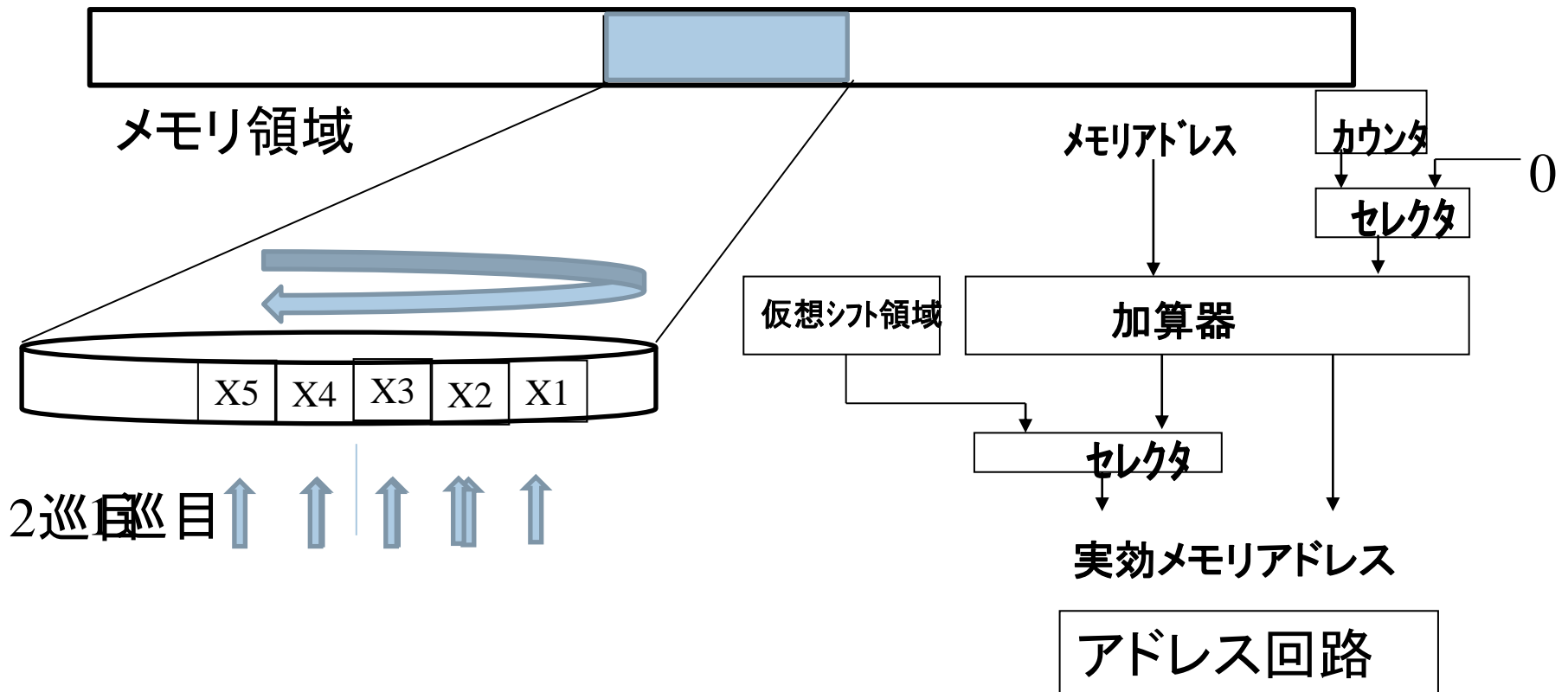
MPLAcc, Load A (a_1), B ($X(t-T)$)

MPLAcc, Load A (a_2), B ($X(t-2T)$)

- 演算性能向上
- 命令メモリ容量削減

仮想シフト機能

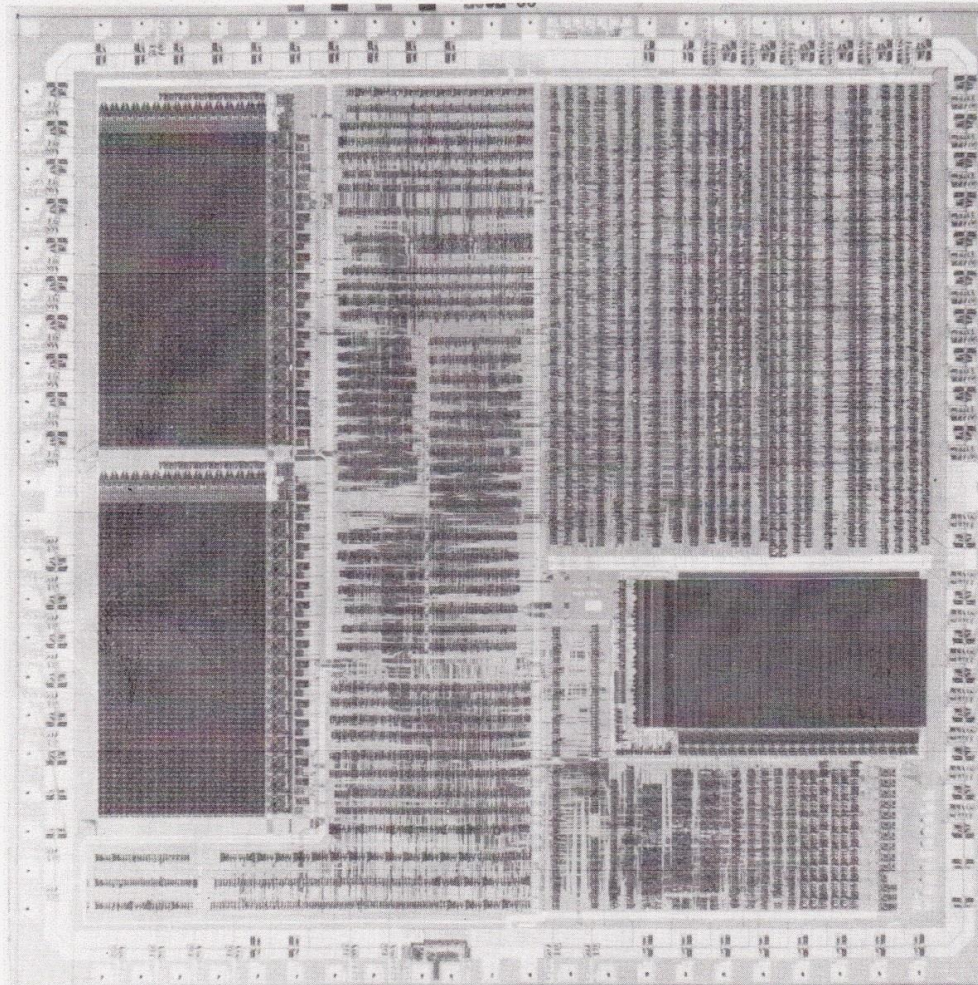
- メモリの一部領域を仮想的なループメモリに見せて、処理の周回毎にアクセスを1ずつ進めることにより、新規入力毎のデータシフトを省略する。



FDSP3チップ写真

352

IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. SAC-3, NO. 2, MARCH 1985



出典:IEEE Trans SAC-3, No.2, 1985

商業化における反省

- 性能は最先端で、世界の多くの研究機関から購入問い合わせがあり、注目は高かった。
- しかしながら、社内製品向けに利用を考えていたため、一版外販向けには必要な開発環境整備不足。
(DSPの構造を熟知している技術者が機械語レベルでプログラミングしていたため)

学会発表では、開発環境やシリーズ間のプログラム互換性の質問を多数受けた。これらの質問に世間が求める事項の重要なヒントがある。学会発表の効用を認識すべき。

感想

- 問題解決手段について、同じような発想で取り組みを行う人がいる。
 - 演算・データ転送同時実行命令
 - 仮想シフトレジスタ
 - 命令毎の電力制御（DSP2, 1980年頃）
- 従って技術の権利を確保するためには、先進的な取り組みは有効。

早すぎて、広く使われるようになった時には特許有効期限切れの事もあるが、他社から権利を主張されることは防げる。
- 専門外部隊(半導体、端末)との密な連携は財産。

本日の内容

1. デジタル信号処理関連
2. 伝送技術関連
3. 動画像符号化
4. ネットワークとビジョン関連
5. まとめ

伝送技術への取り組み

■ デジタル加入者線伝送

- ピンポン伝送方式(アナログ信号処理)
- エコーキャンセラ方式(ディジ・アナ混在)

■ PCM CODEC LSI

■ 高速光通信LSI

■ 光ネットワーク

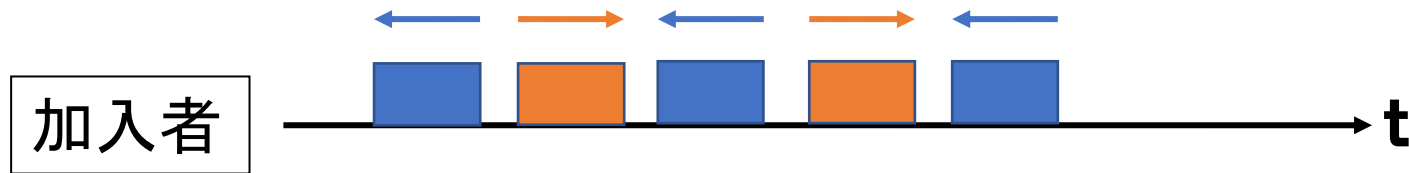
デジタル加入者線伝送

- ピンポン伝送方式(アナログ信号処理)
- エコーキャンセラ方式(ディジ・アナ混在)

- デジタル/アナログ混在処理
- シンプルな実現を指向

- N-ISDNからB-ISDN(SDH, ATM)の標準化活動参加へ

ピンポン伝送方式



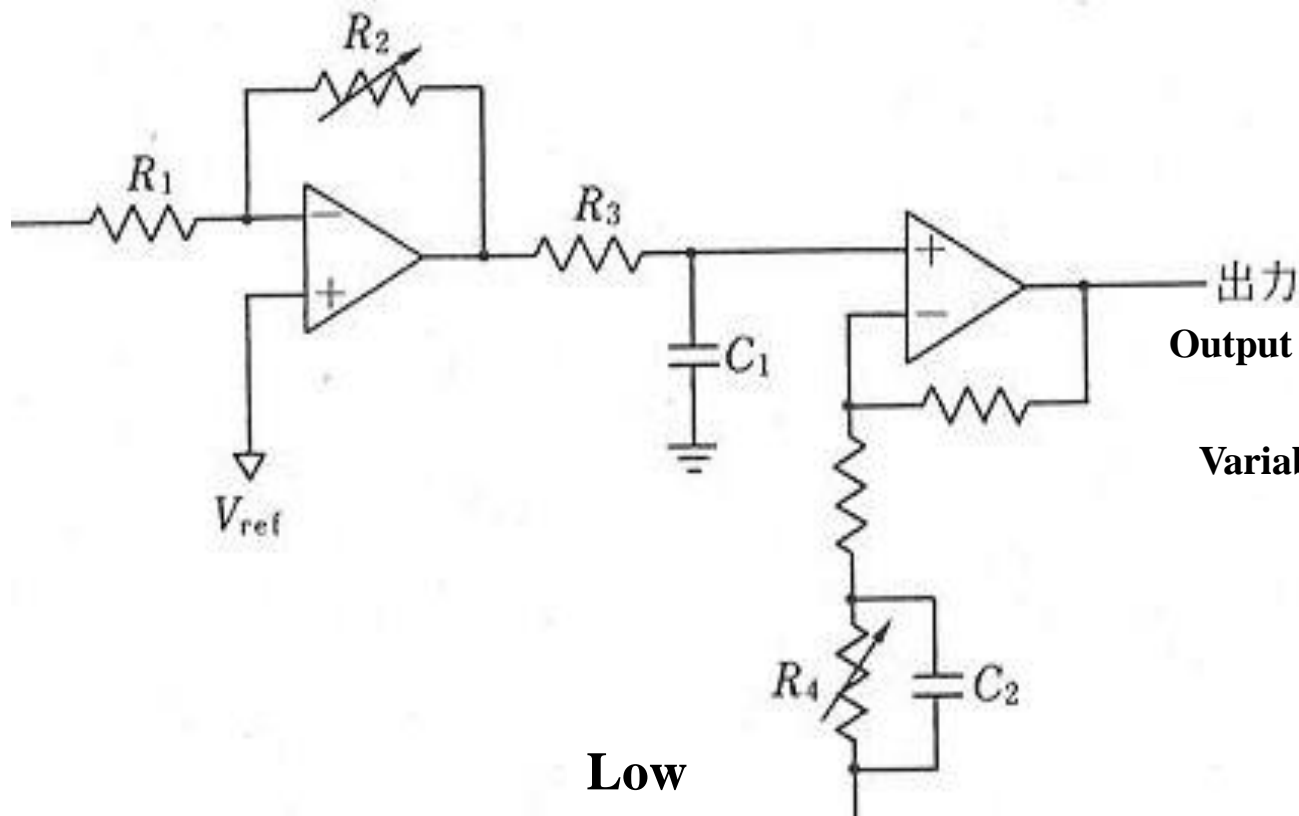
- 加入者電話線を用いたデジタル伝送方式
- 通信容量：上り下りとも(64k + 64K + 16k) bps
- ISDNサービスに適用

(適用技術)

- \sqrt{f} 自動等化器
- Bridged Tap等化器

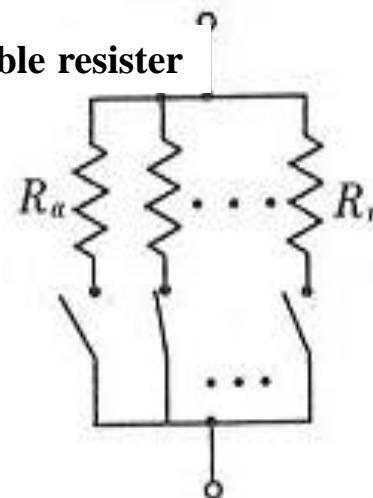
なるべく簡単に実現できる方式を探索

\sqrt{f} 自動等化器



可変抵抗の例

Variable resister



DC gain

可変直流増幅

$$\text{利得} = -\frac{R_2}{R_1}$$

**Low
pass
filter**

低域フィルタ

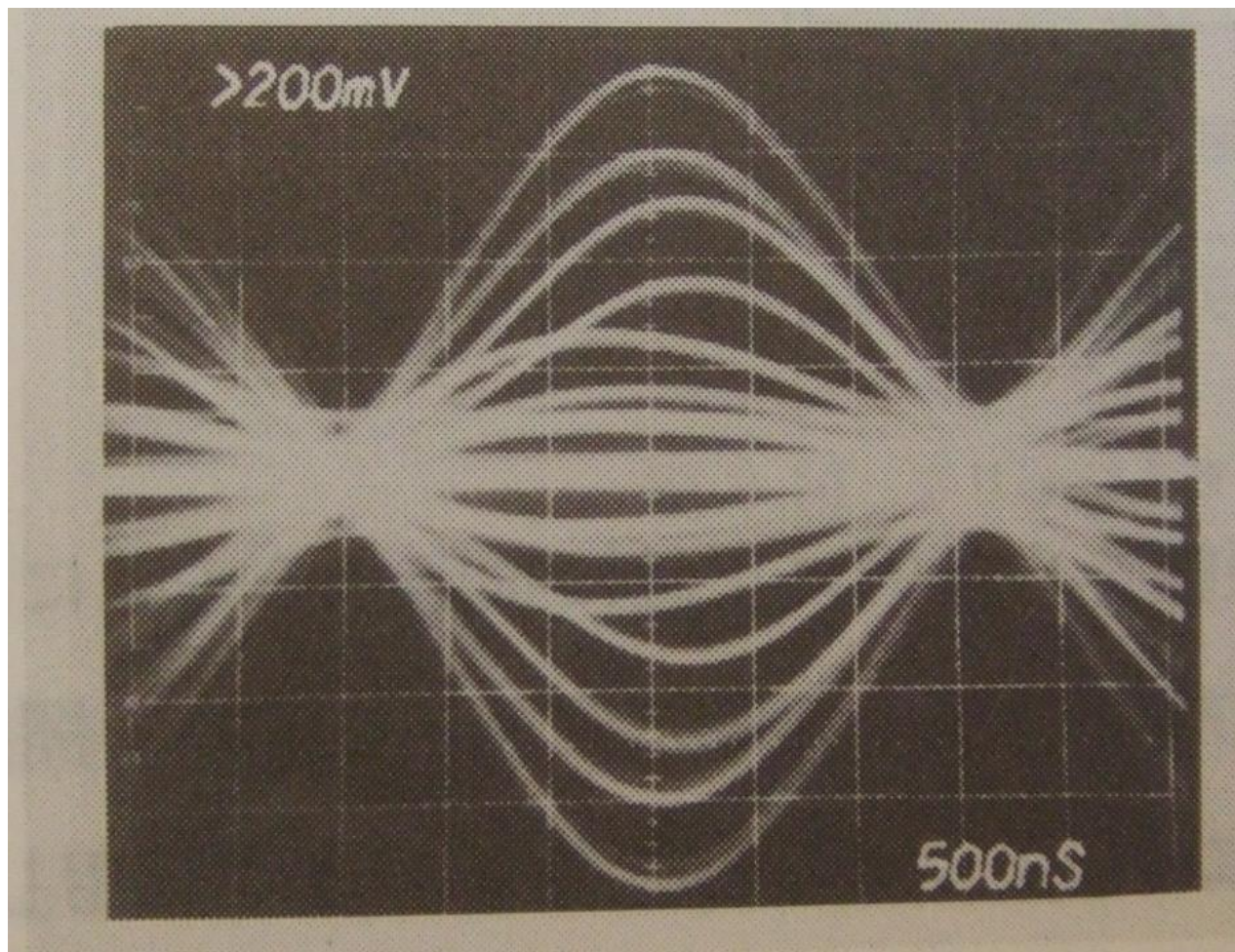
$$f_c = 1/R_3 C_1$$

High pass filter

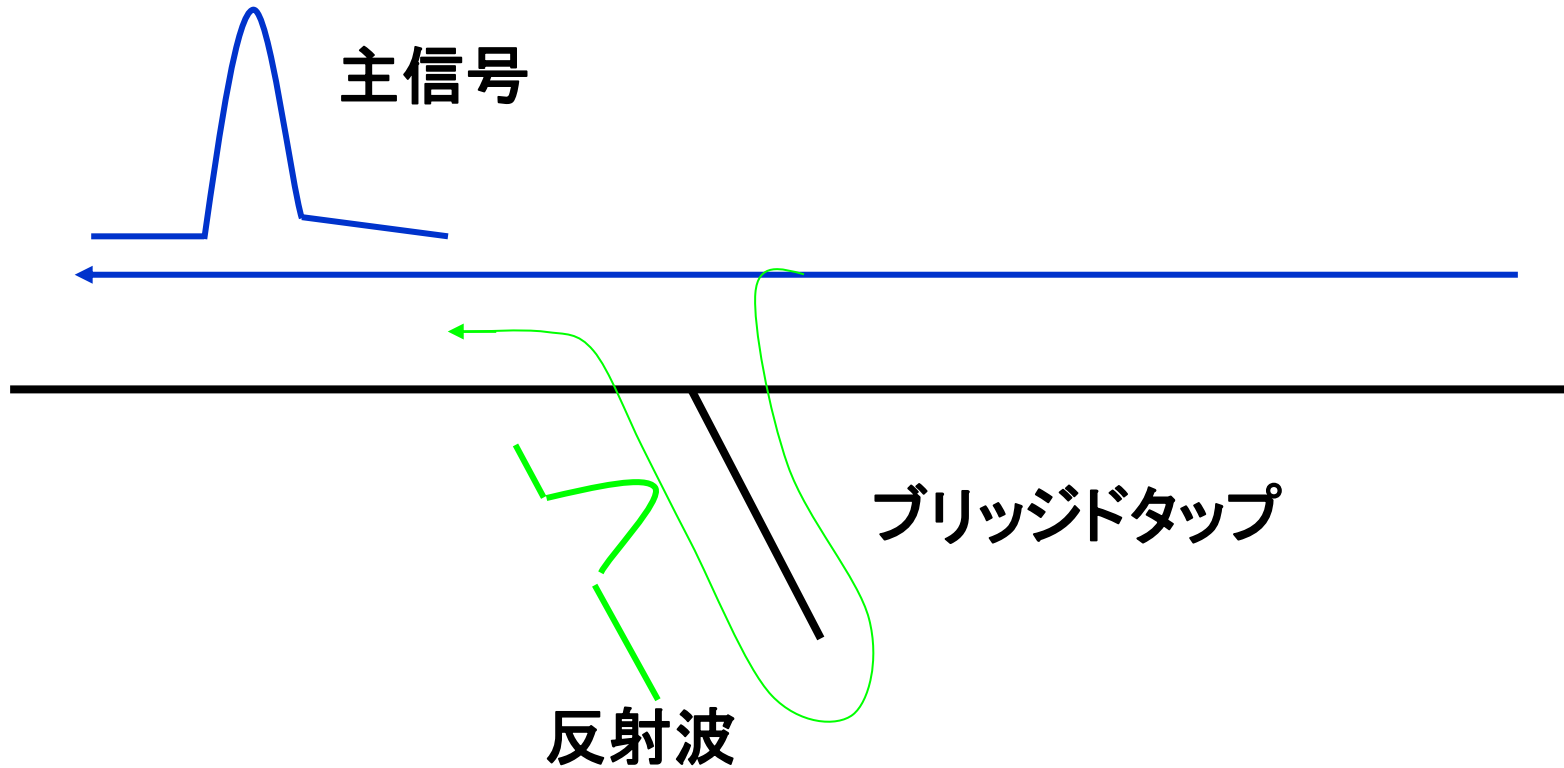
可変高域フィルタ

$$f_c = 1/R_4 C_2$$

\sqrt{f} 自動等化器出力波形



ブリッジドタップ



ブリッジドタップ等化器(試作機)

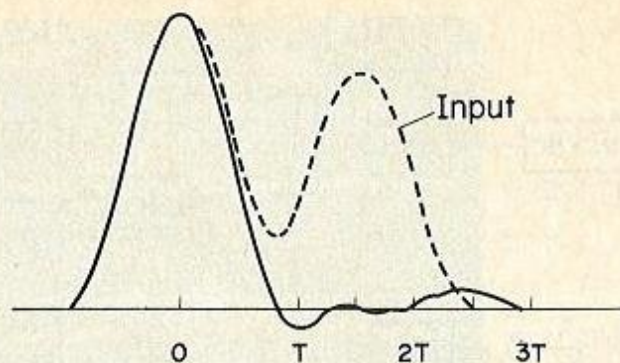


Fig. 8. BTEQL compensated output for 5-tap system.

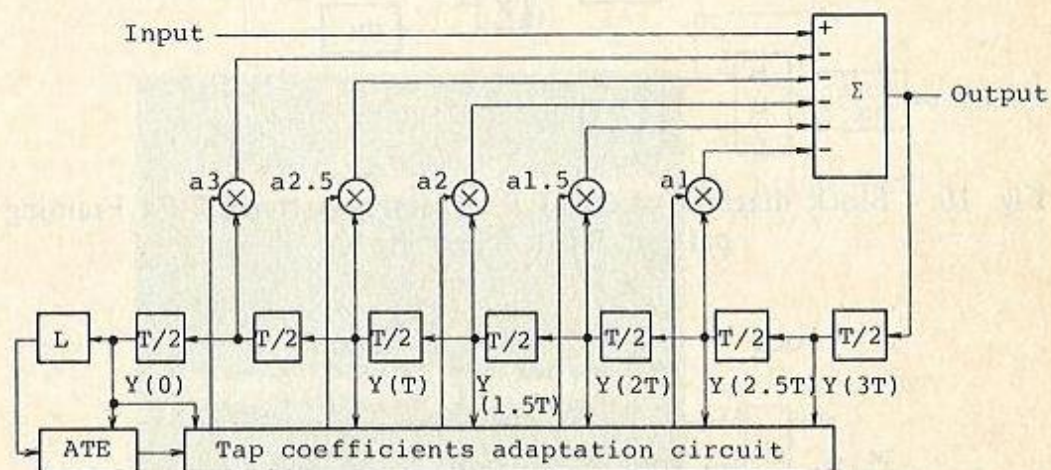
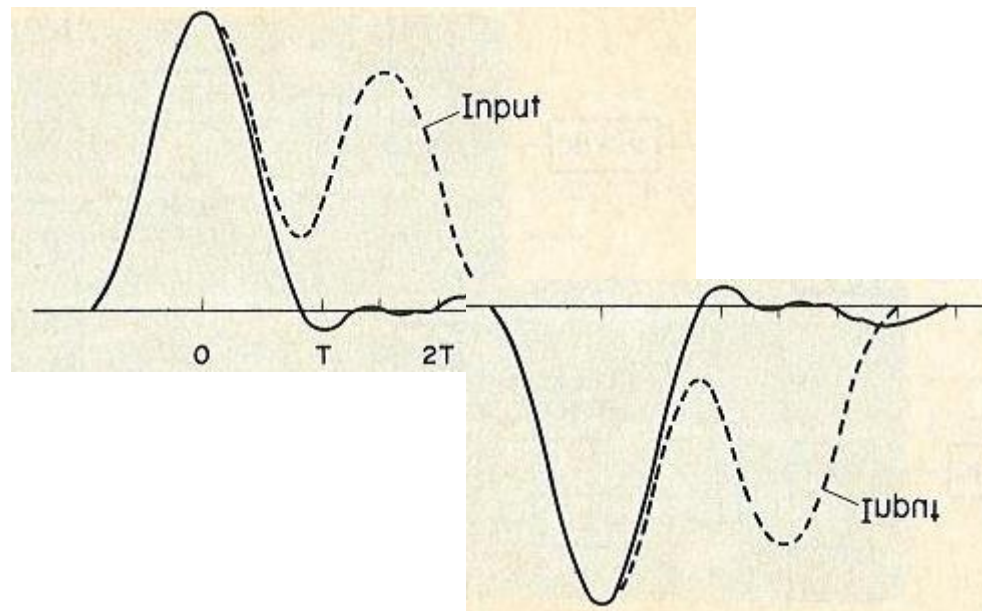


Fig. 9. Block diagram of BTEQL. ATE: Adaptation timing extraction.

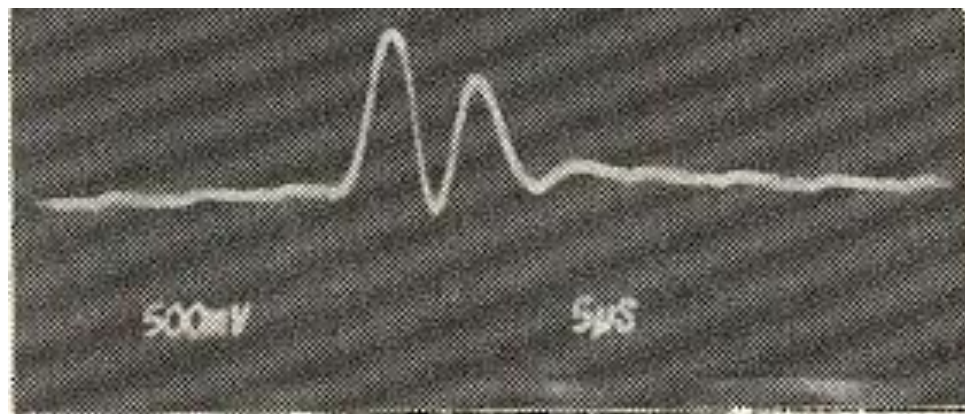
フレーム先頭のパターン ―等化量の簡易検出化―



100100パターンの波形

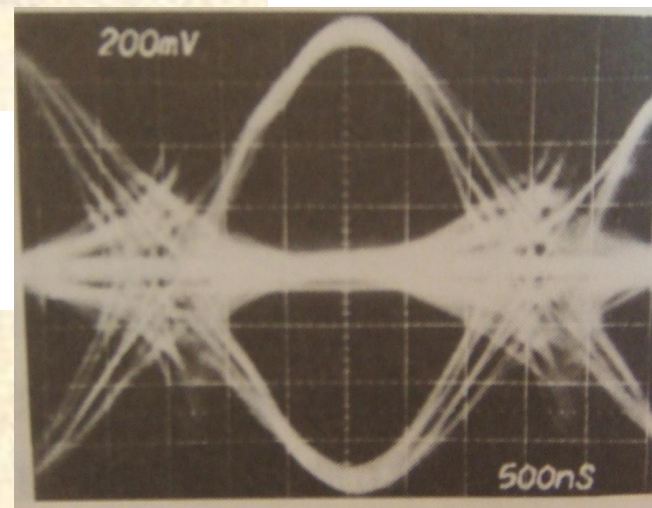
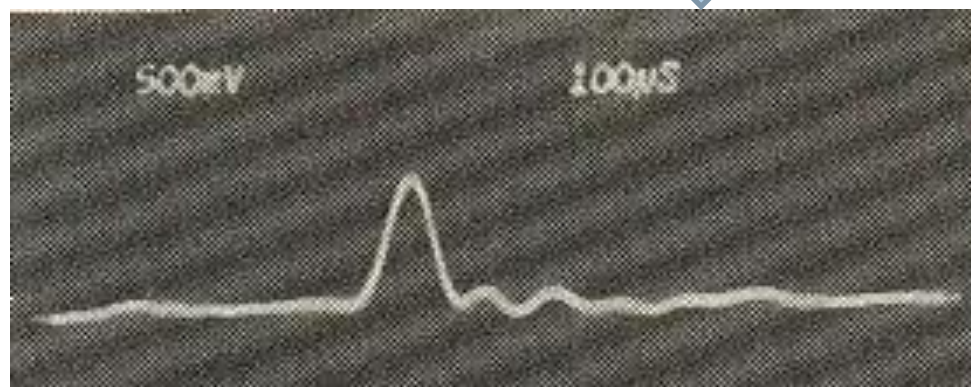
出典IEEE Trans on SAC

ブリッジドタップ等化波形



← \sqrt{f} EQL-OUT

\sqrt{f} 等化器出力波形



等化後のアイ開口

← BTECL-OUT

ブリッジドタップ等化波形

出典：IEEE Trans on SAC

電機大出版“ISDNの伝送技術と信号技術“

エコーキャンセラ方式(更なる高速化)

- 適応的なハイブリッドトランスによりエコーの発生自体を抑える。
 - あまりとられてなかったアプローチ
 - アナログ・デジタル混在回路による実現
- メモリ型2ステージEC方式採用
 - RAM容量削減のため
- タイミング抽出容易化のために、特別なフレームパターンを設計
 - 同じ時期にイタリアテレコムも同様のアイデア提案

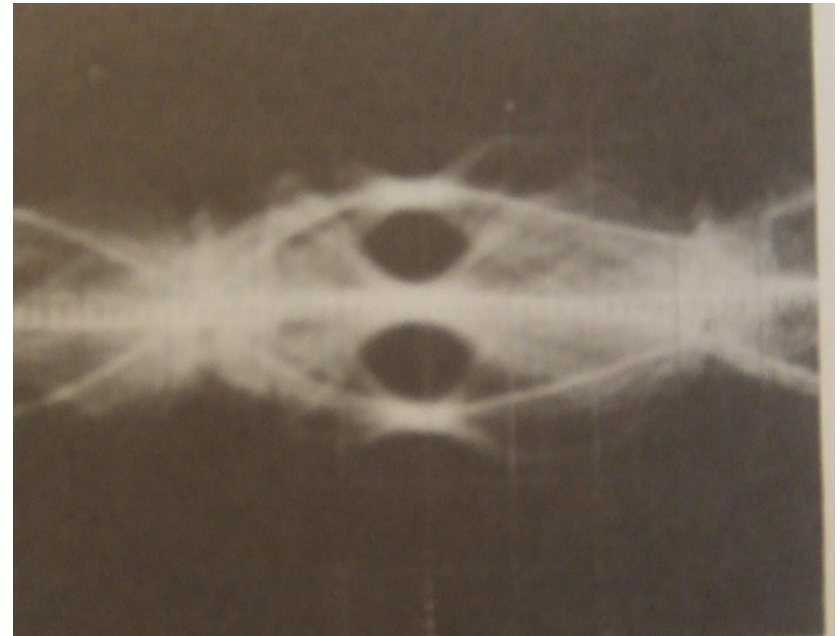
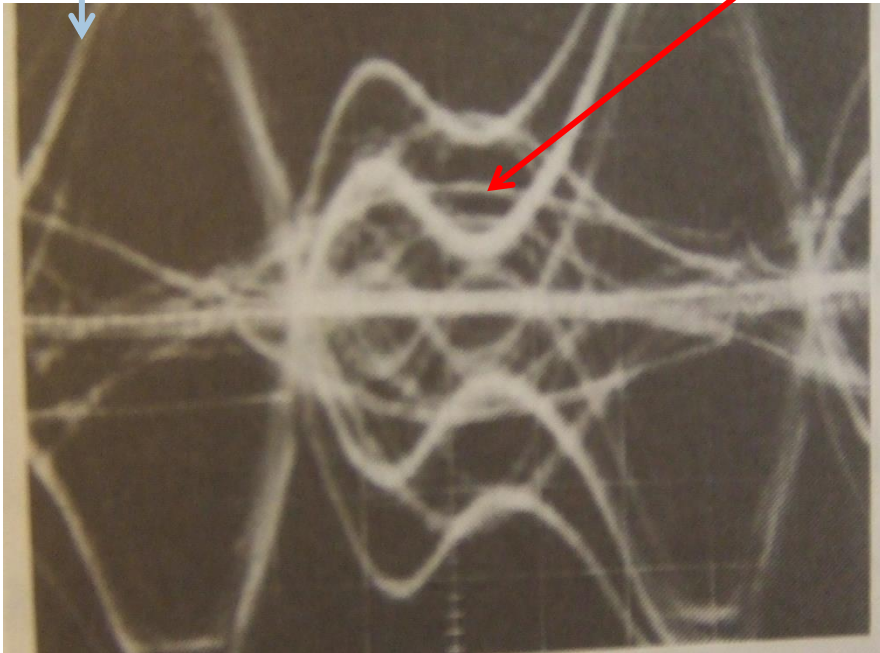
エコーの問題

Echo

受信信号

Target signal

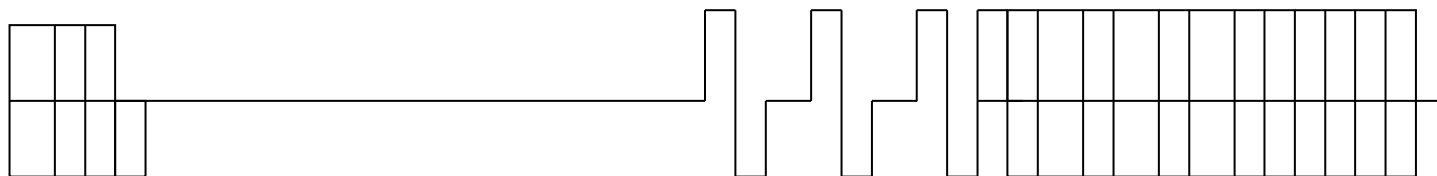
エコーキャンセル後



受信信号よりエコーの方がはるかに大きい。

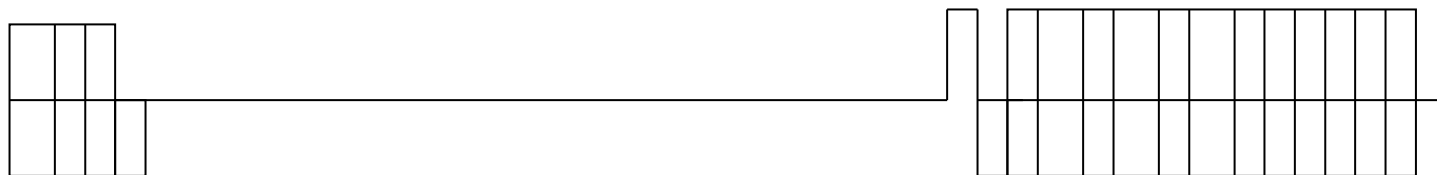
エコーキャンセラフレームパターン

加入者側
受信



← 13bitガード → フレーム／
タイミング

加入者側
送信



デジタル加入者伝送についての感想

- ASDL, PONの導入による急速な高速化
 - データ通信主体へのシフト
 - ベストエフォートモデルへの移行
- 国際標準化へ参加の機会を得た
 - かなりのハードワーク
 - 仲間作りの重要性を学ぶ

光海底通信用IC開発

TPC-3(1989年、容量:560Mbps)

- 初の光海底中継システム(TAT8と同時期)
- 信頼性確保のために、IC化必須(それまでは、個別部品による実現)
- ICに向いた回路方式開発(無調整、素子の相対精度による設計等)
- 世界最高速レベルのICチップセット開発
- 方式から実装、ICチップパッケージ、開発まで

100G coherent transponder module

ーデジタル信号処理導入ー

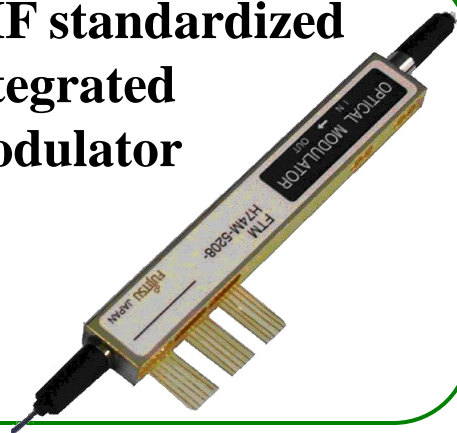
**OIF standardized
integrated receiver**



56 Gsa/s ADC/DSP



**OIF standardized
integrated
modulator**



177.8

127

OIF standardized transponder
12 V single power supply
Power dissipation Max. 80 W

OIF-MSA-100GLH-EM-01.0
www.oiforum.org

Copyright FUJITSU LIMITED 2012

Evolution光ネットワークの進化予測

1st Generation

2nd Generation

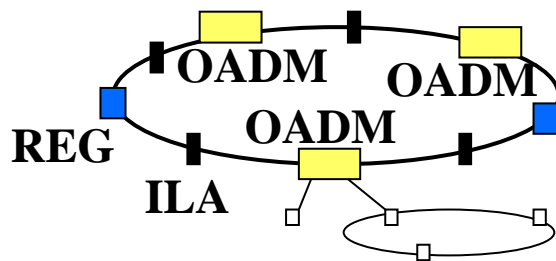
3rd Generation

4th Generation

WDM 伝送

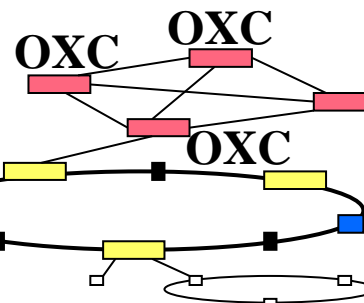


波長Add - Drop 機能



光クロスコネクト

- (G)MPLS
- Layer Conversion



光パケット網

光信号処理

光ルータ

TRM: Terminal

ILA: In Line Amplifier

REG: Regenerator

OADM: Optical Add Drop Mux

OXC: Optical Cross Connect

1995

2000

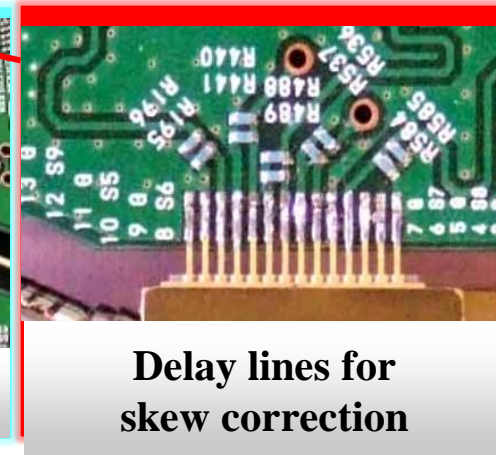
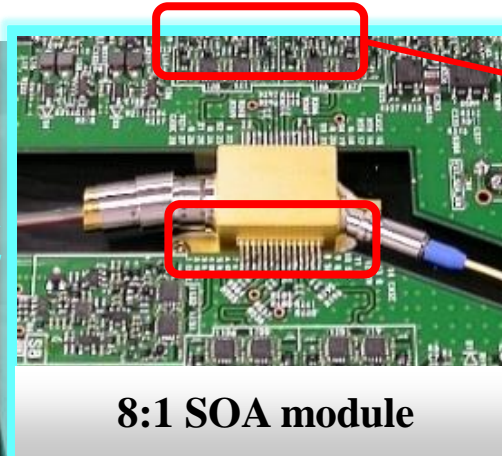
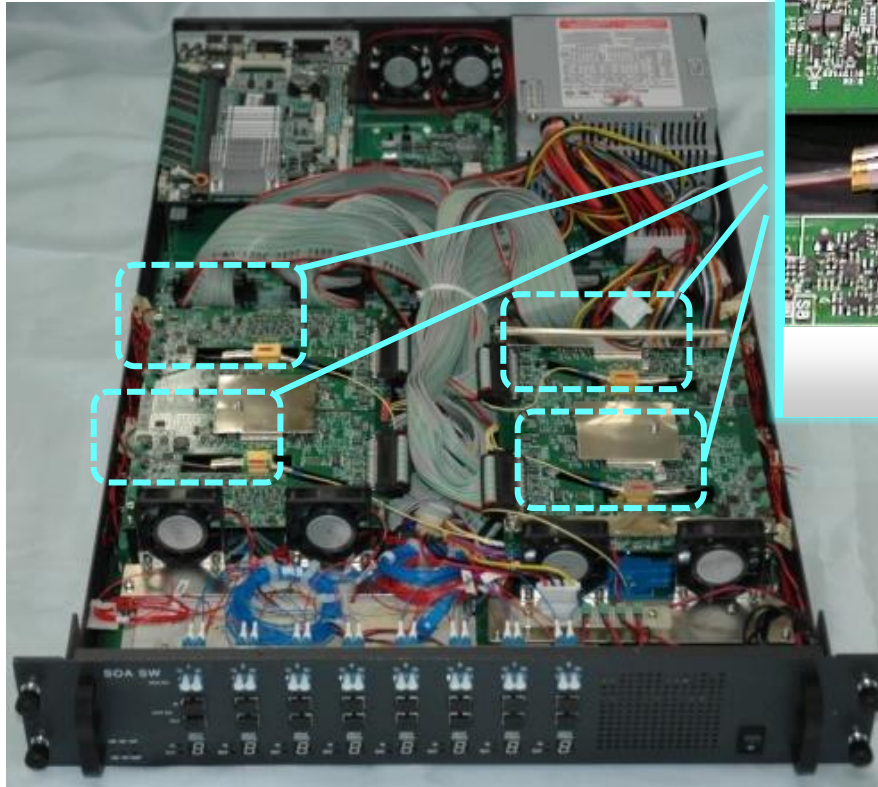
2005

2010

2015

YEAR

Prototype of 8×8 SOA switch unit



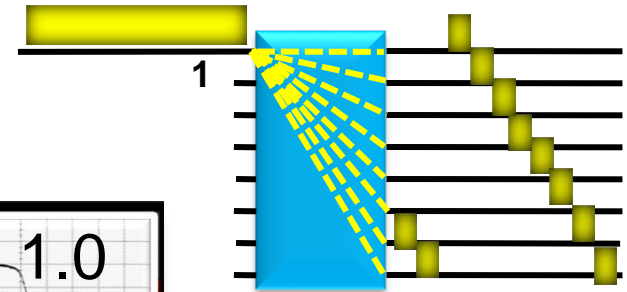
Items	Specifications
Wavelength	Signal: 1520 - 1561 nm
Switching capacity	800 Gbps (10 Gbps \times 10ch. \times 8 port)
Gain	0 - 5 dB
Size	19-inch 2U sized rack
Functions	<ul style="list-style-type: none"> • Digital PID TEC control • Power monitoring



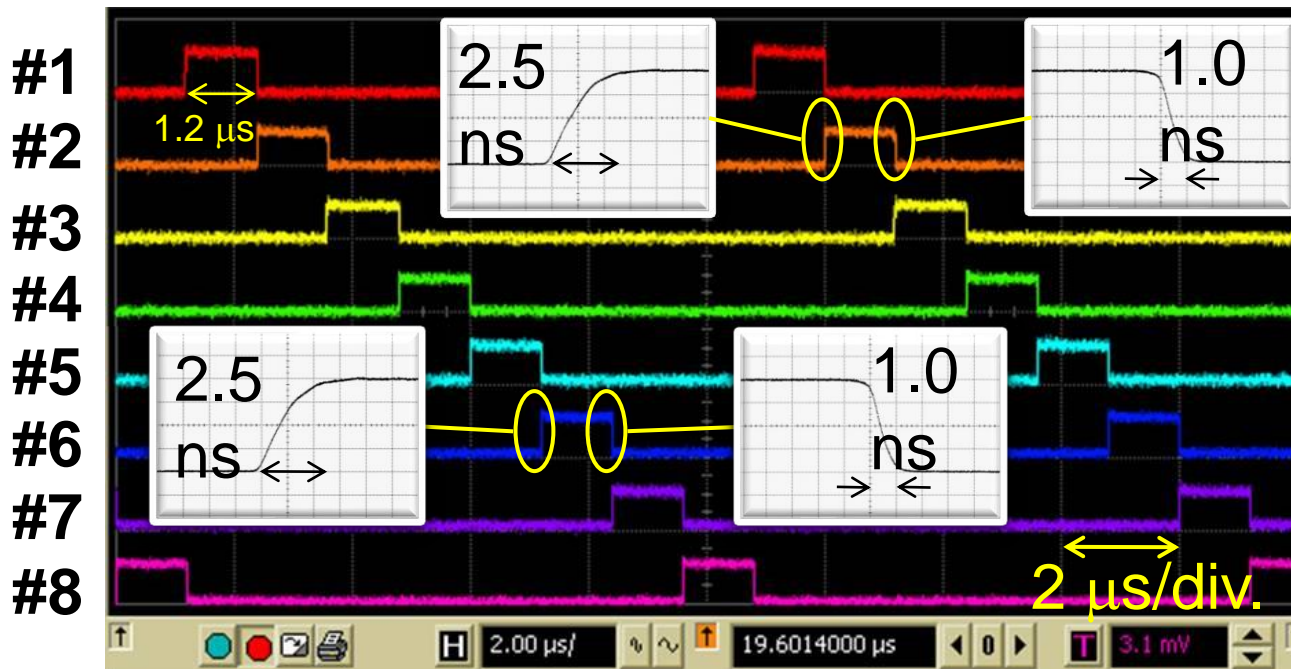
- 1) Y. Kai et al., ECOC2008, We.2.D.4
- 2) S. Yoshida et al., OECC2008, P-95

Switching characteristics

■ Periodically switched to output port #1→#2→...
7→#8→#1→... every 1.2 ms



OUTPUT



Less than 2.5 ns for all switching

1) Y. Kai et al., ECOC2008, We.2.D.4

2) S. Yoshida et al., OECC2008, P-95

感想

- アナログ回路設計技術を習得
- 半導体部隊とのより深い付き合い
 - マスクパターン設計まで (PCM CODEC LSI)
- 光通信へのデジタル信号処理導入に感慨
- 波長多重技術の急激な進化を体験
- 光デバイス研究部隊との密な協調
- E-to-E高速デジタル通信の進展を目の当たりにし、ICTシステム変化の可能性を考え始める

本日の内容

1. デジタル信号処理関連
2. 伝送技術関連
3. 動画像符号化
4. ネットワークとビジョン関連
5. まとめ

動画像符号化

- 大学院でのデジタルファクシミリの取り組み
 - 多面的な見方を学ぶ
- 動画像符号化の草創期での厳しい技術開発競争
- 国際標準化の厳しいやり取りを経験
- ユーザ視点での取り組み

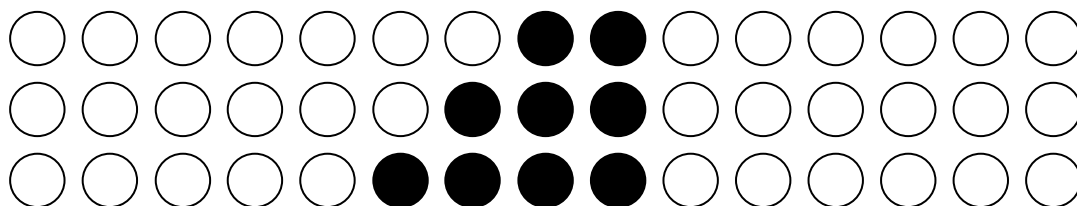
見方を変えて

- 予測処理では、予測誤り信号は伝送効率を下げる。→ 予測誤りをできるだけ少なくする。
- 気付き： 予測誤り信号はほとんどが孤立点。これを後続の予測的中信号のランと合体させれば効率は良くなる。

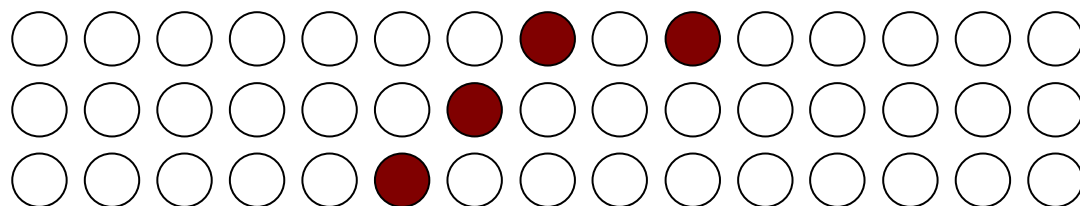


反転予測方式提案：一端予測誤りが起きるとわざと誤らせ、的中すると通常の予測に戻す。

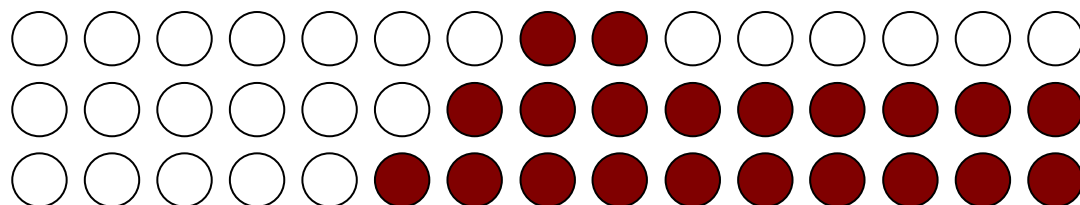
反転予測方式



原信号



2次元予測後



反転予測後

● 予測誤り

初期の動画像符号化技術水準

Copyright FUJITSU LABORATORIES LTD. 2012



VSP-0 (Video Signal Processor)開発

動き補償技術の導入

- 画素ブロックごとに、前のフレームで最も近似度が高い画素ブロックを検出
- 膨大な累積差分絶対値計算が必要
- 累積差分絶対値と最も値が小さなブロックを検出するためのLSIを開発
 - 装置規模の縮小
- その後の動画画像CODEC LSI開発のトリガー

テレビ会議サービスの開発 —イメージ画像—



全体画像と発言者自動選択ウィンドウ表示

PCSJ懇親会での雑談と現状

テレビ電話普及についての雑談

■ 奥方は歓迎しない

➤ いつもお化粧をしていないといけない

➤ いつも部屋をきれいにしておかないといけない

技術の進歩により、テレビ会議を含めて様々な動画像通信サービスが普及し、当時話していた事が現実になってきている。

感想

- ユーザ視点での取り組みのきっかけ。
- 多面的な見方の重要性を再認識。
 - DCT(Discrete Cosine Transform)の導入
 - 前方・後方挟み込み予測
- 再び厳しい標準化を経験。

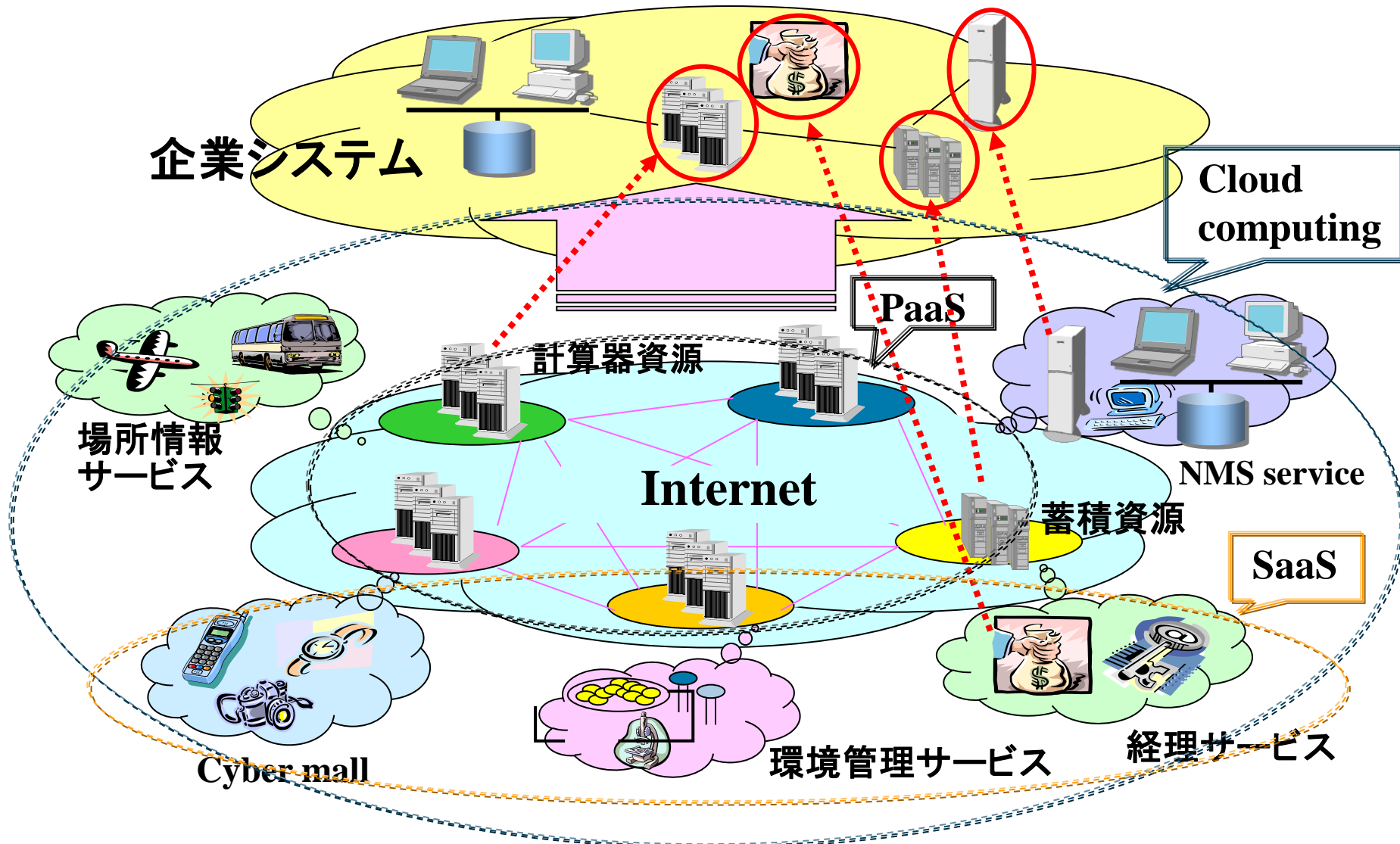
本日の内容

1. デジタル信号処理関連
2. 伝送技術関連
3. 動画像符号化
4. ネットワークとビジョン関連
5. まとめ

ビジョンが大事だと思う理由

- 世界の技術研究開発の大きな流れである。
- 新しい世界(領域)を開くことで、大きなビジネスを作りだせる。
- 世の中に先駆けた取り組みができ、技術準備や知財でも優位がもてる。
- 数多く現れる新しい技術提案について、自分にとっての価値判断が容易になる。
- 方向性が決まった時の日本人の研究開発力の強さが発揮できる。

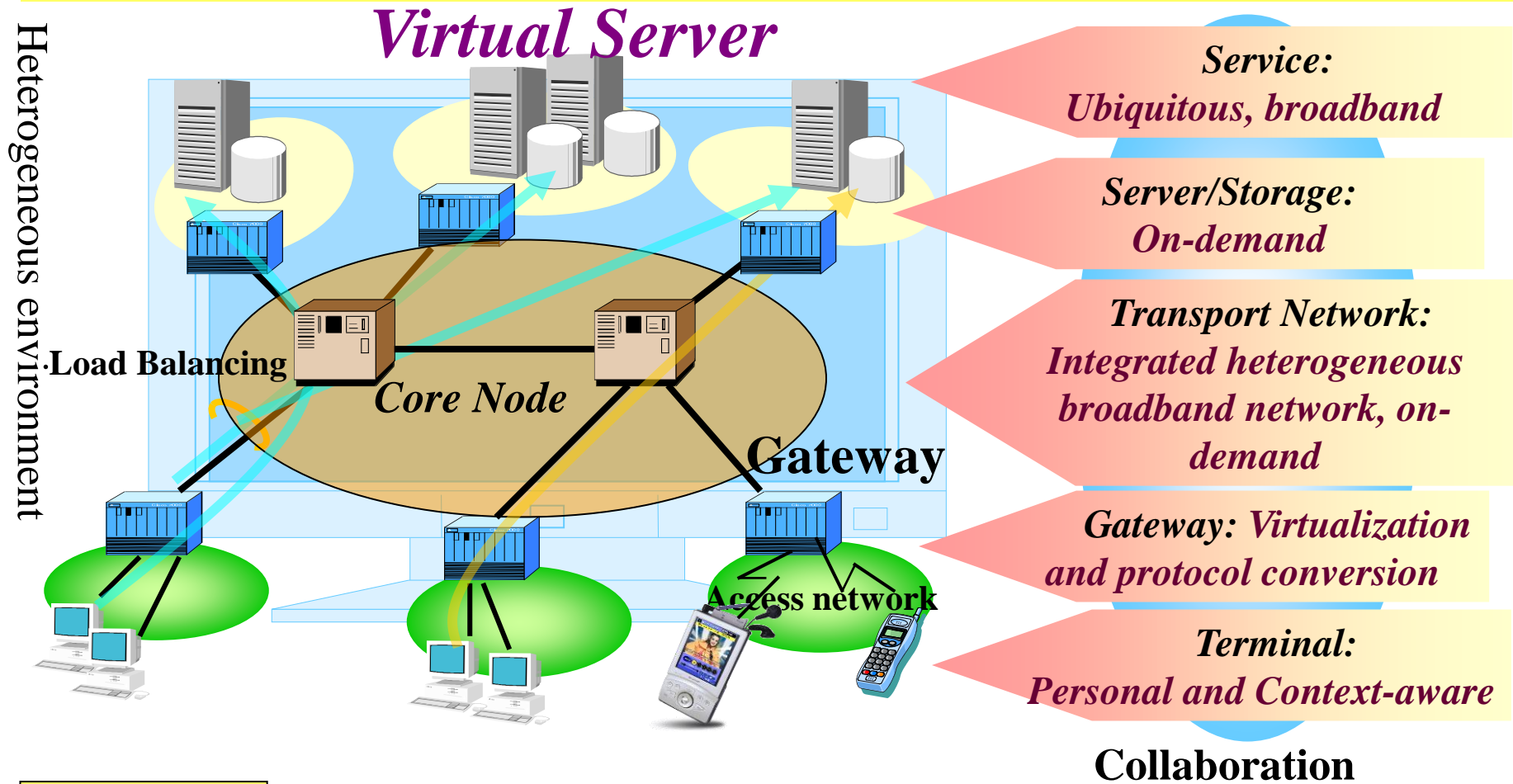
サービス／資源on demand (1990年頃)



Virtual Server View Network

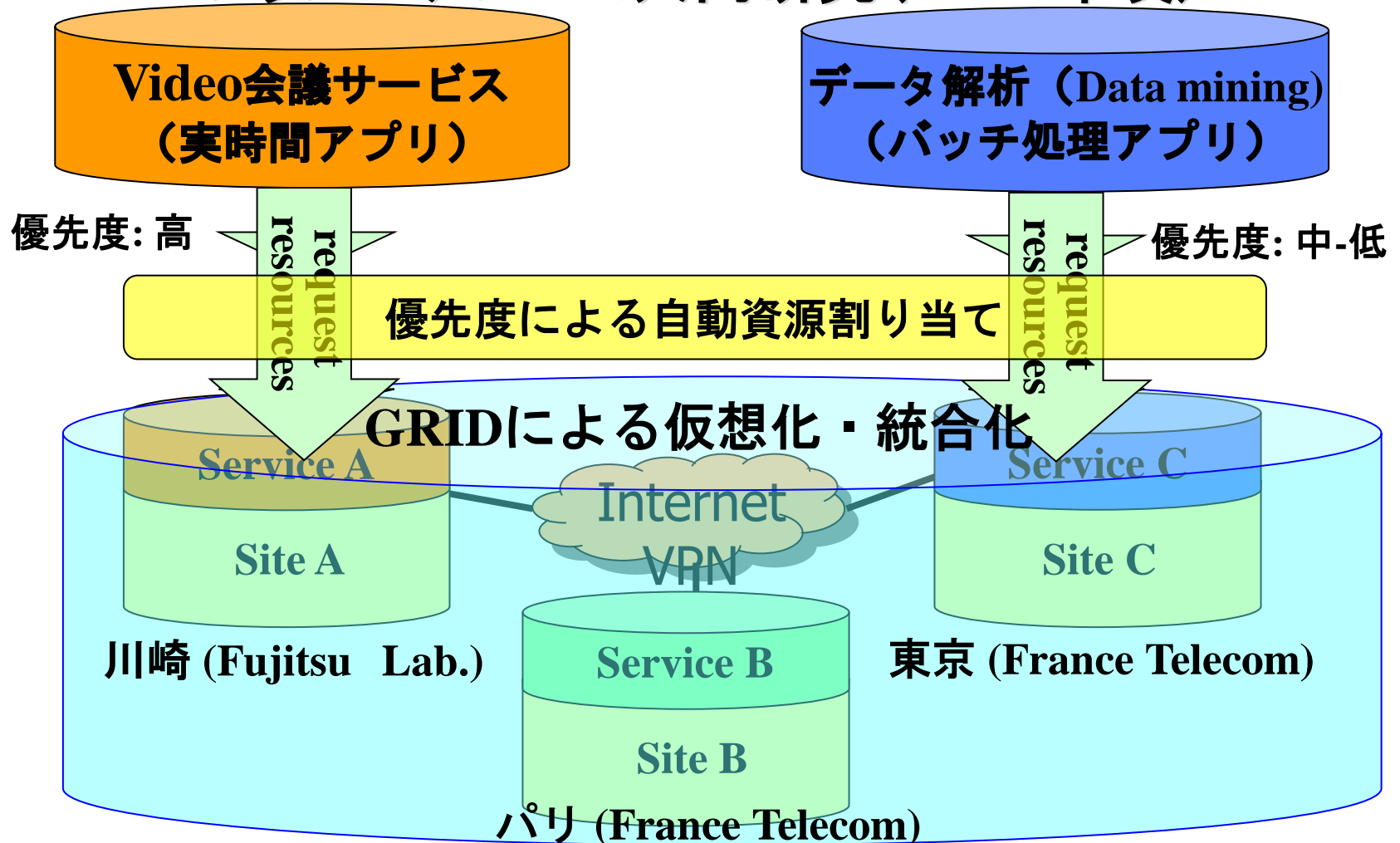
-Fujitsu's network vision-

Making the network into the environment from where user can obtain anything he/she needs at any time and any place with ease.



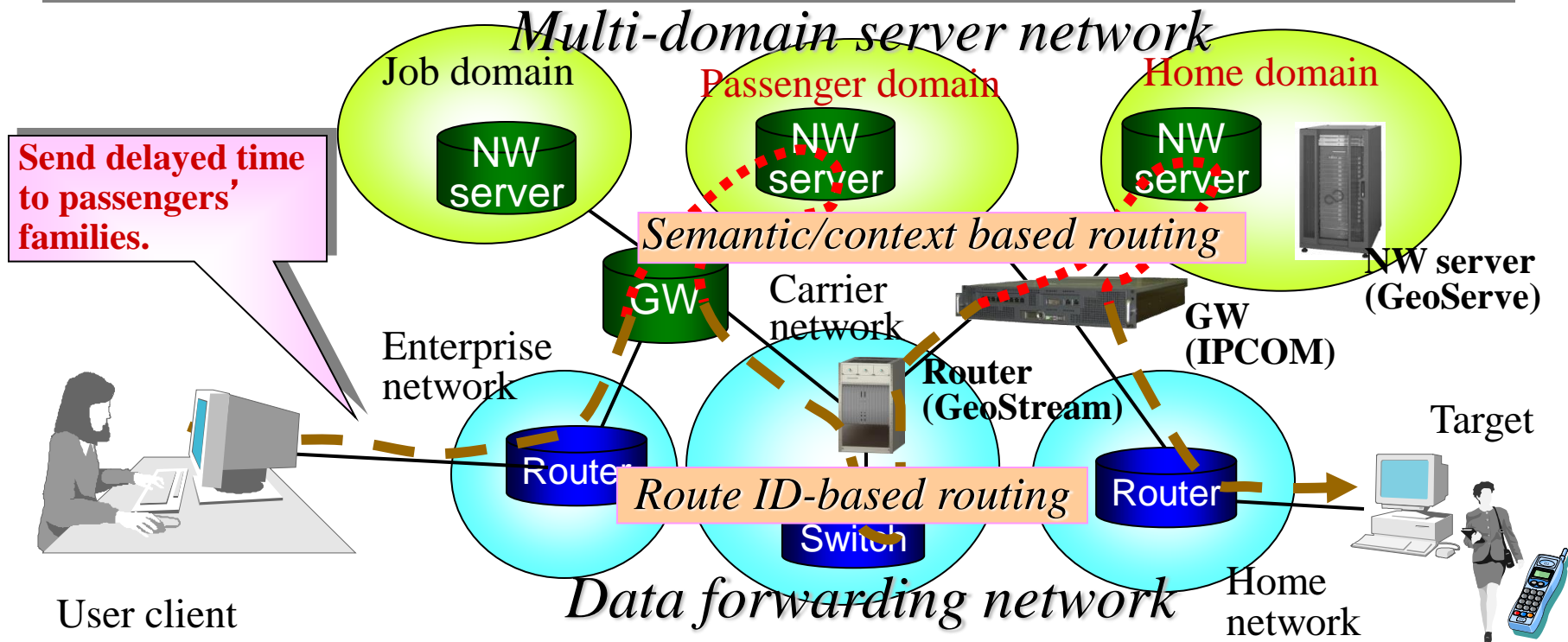
Gridによる資源仮想化・有効活用

－フランステレコム共同研究(2004年頃)－



Object finding network

- Provides the user with easy access to the object by a simple and natural indication method (**semantic routing**), and also hiding the complexity of heterogeneity.
- Role of **Network Servers** and **Gateways** becomes much more important.



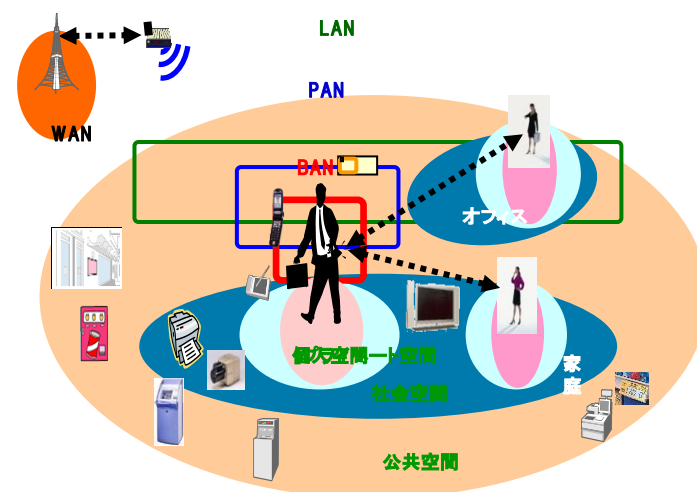
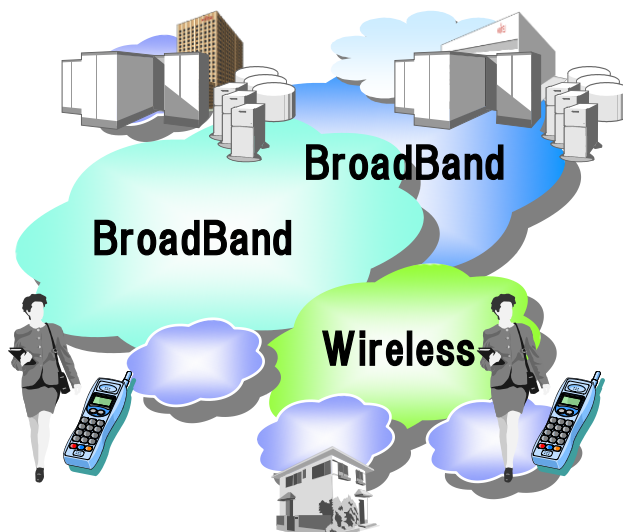
ICTシステムのパラダイムシフト(2005年頃)

- 社会基盤としての確立とともに、「ユーザ/人間中心」へ

Computer centric

Network centric

Human centric



専門家の物

誰でも使える

頼りになる

データ処理

情報収集

知の形成

我々の思い

ユーザー中心システム:

- ユーザーは無意識のうちに支援される
- サービスはユーザーの状況に適応して提供される
- ユーザーは何にでもアクセスできる

頼りになるシステム:

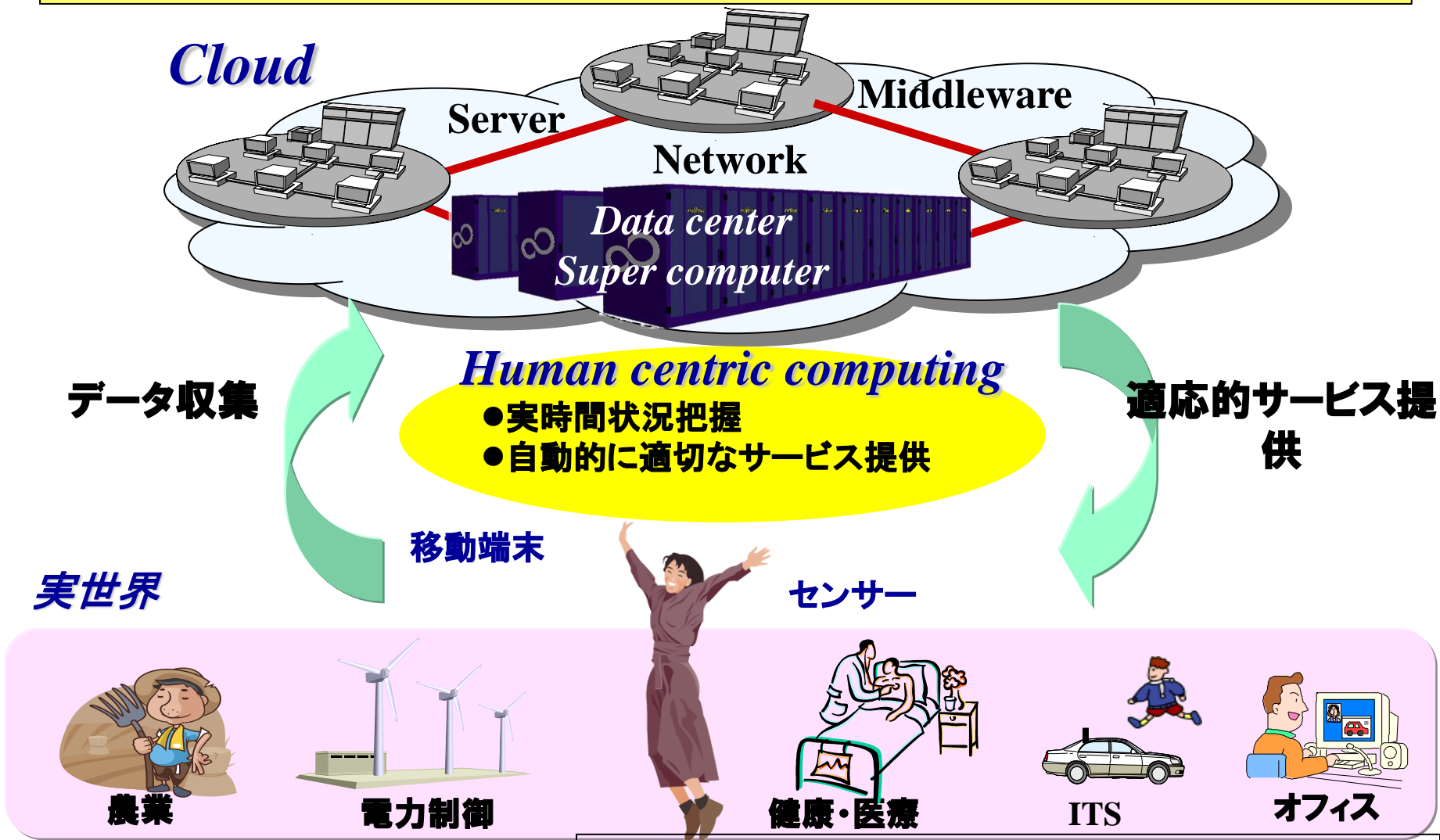
- 無停止で動く
- 高いセキュリティ(信用)を提供する
- 心地よくサービスが提供される
- 持続発展可能

知識創造

- 集合情報からユーザーに役立つ知識へ変換

Human centric intelligent societyの基本構造

Human centric systemによる新しい価値の創造



感想

- ビジョン提案は、当時は必ずしも社内評価されにくかった（Human Centricは例外的に受け入れられたが）
 - 社内発表の機会が少なかったこともあるが
- 一方海外では興味を持たれることが多かった。
- 早稲田でのICNの出会いと研究取り組みにつながった。
- 5G/B5G NetworkでのSoftwarization/Virtualization研究開発進展に期待。

本日の内容

1. デジタル信号処理関連
2. 伝送技術関連
3. 動画像符号化
4. ネットワークとビジョン関連
5. まとめ

振り返ってみて

- 開発技術が世の中で使われているのを見る喜び。
 - アイデアを盛り込む箇所は色々なところにある。
- 新しいことに取り組むのは大変だが、楽しい。
- 色々な領域を知る事は財産。
- 技術の急激な進歩を実感。
 - 常に技術レベル認識をリフレッシュすることが必要
- 色々な取り組みを行ったが、結局はデジタル信号処理、通信、LSI化で繋がっていた。

ご清聴有難うございました