

LabVIEW DAYS 2007

アカデミックトラック D3 15:15-16:00

LabVIEWの並列自動判定により検査時間短縮に
成功した聴性誘発脳波解析システム

千葉大学フロンティアメディカル工学開発研究センター
特別研究員 井川 信子

1

はじめに

聴性誘発反応は耳からの音刺激に誘発される脳波で、他覚的聴力検査や脳死判定補助等で用いられます。検査システムは主に音刺激装置による音に同期して生体アンプから脳波を測定し、解析装置で加算・波形判定をします。

LabVIEWを用いると、短時間で聴性誘発脳波のためのリアルタイム計測・解析システムを構築することが可能です。また、解析装置のプログラムを改良し、検査時間短縮も実現する並列自動波形判定システムの開発にも成功しました。本セッションでは、開発過程も交えて、このシステムを紹介します。

アウトライン

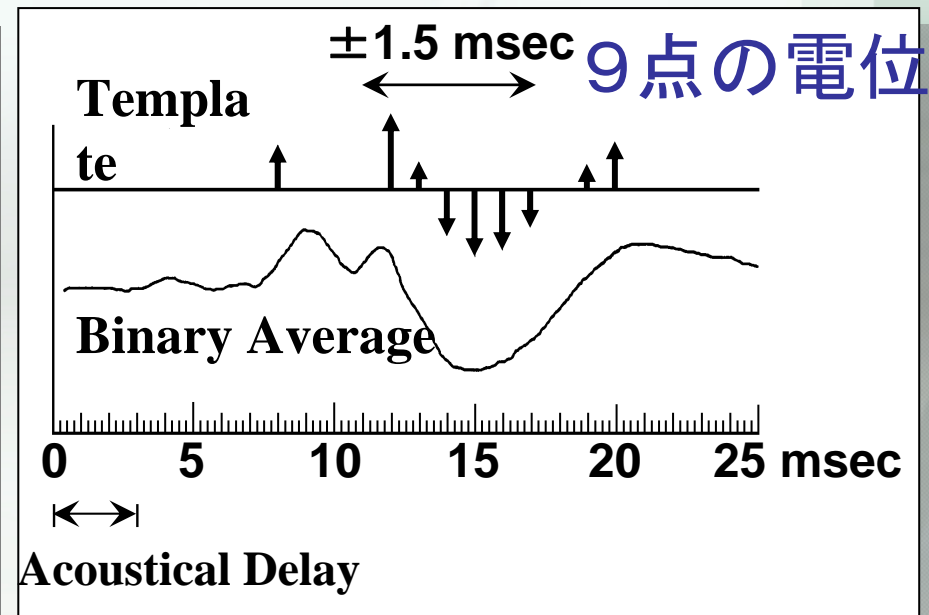
- 聴性誘発反応の紹介
 - ー ABR・ASSR
- 開発プログラムの紹介
 - ー 並列同時自動波形判定システムなど
- LabVIEW活用の利点
 - ー 短時間で検査・解析システムの構築が可能
- これからめざすこと
 - ー 実用化に向けて



新生児聴覚スクリーニング(青柳[1])

(Herrmann BSの文献より)

音圧 = 35 dB、又は 70 dB



自動ABR

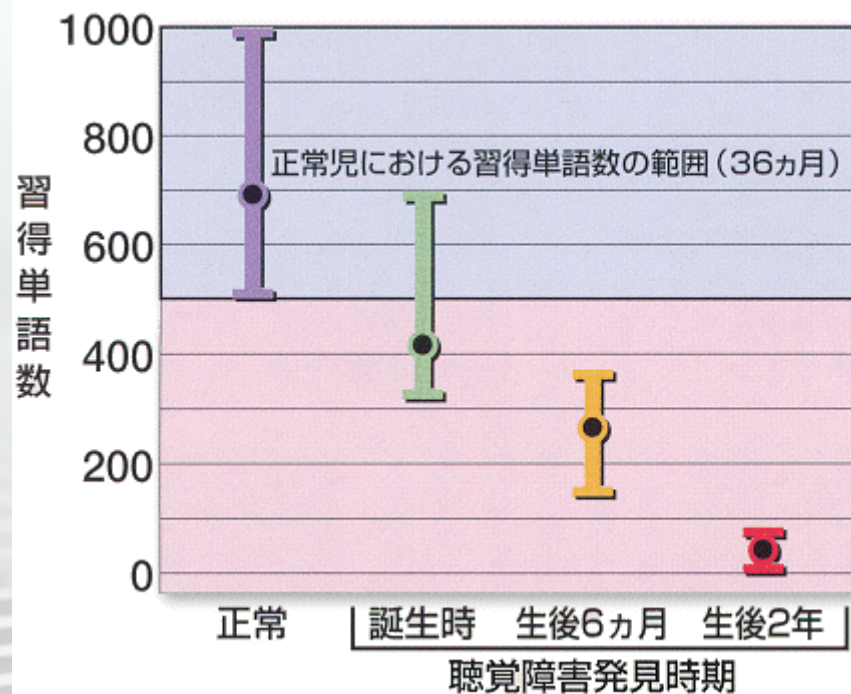
Automated ABR (AABR)
(Natus ALGO™)

波形検出のアルゴリズム
Weighted-Binary Template
Matching Algorithm

聴覚障害の早期発見によって
言語能力の発達を正常に近づけられます

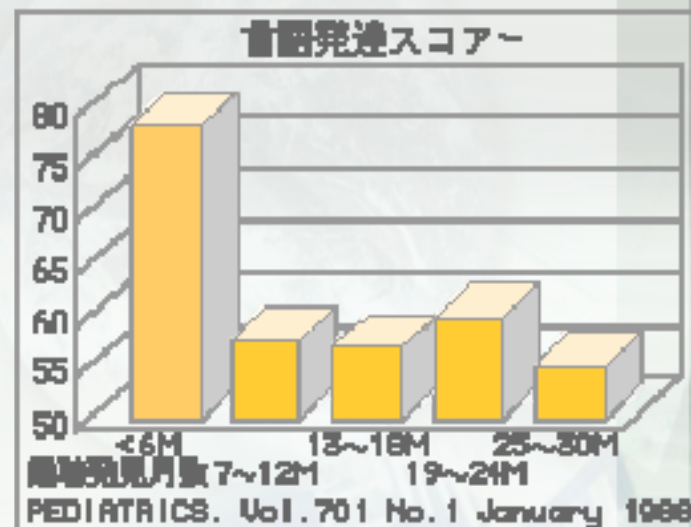
また早期の療育によって言語獲得が可能になります

生後36カ月に習得している言葉の数



(Marion Downs National Center for Infant Hearing, 1997)

言語発達スコア



PEDIATRICS, Vol. 70, No. 1, January 1983

幼児難聴(日本の場合) (青柳[1])

特別な教育的措置を要する

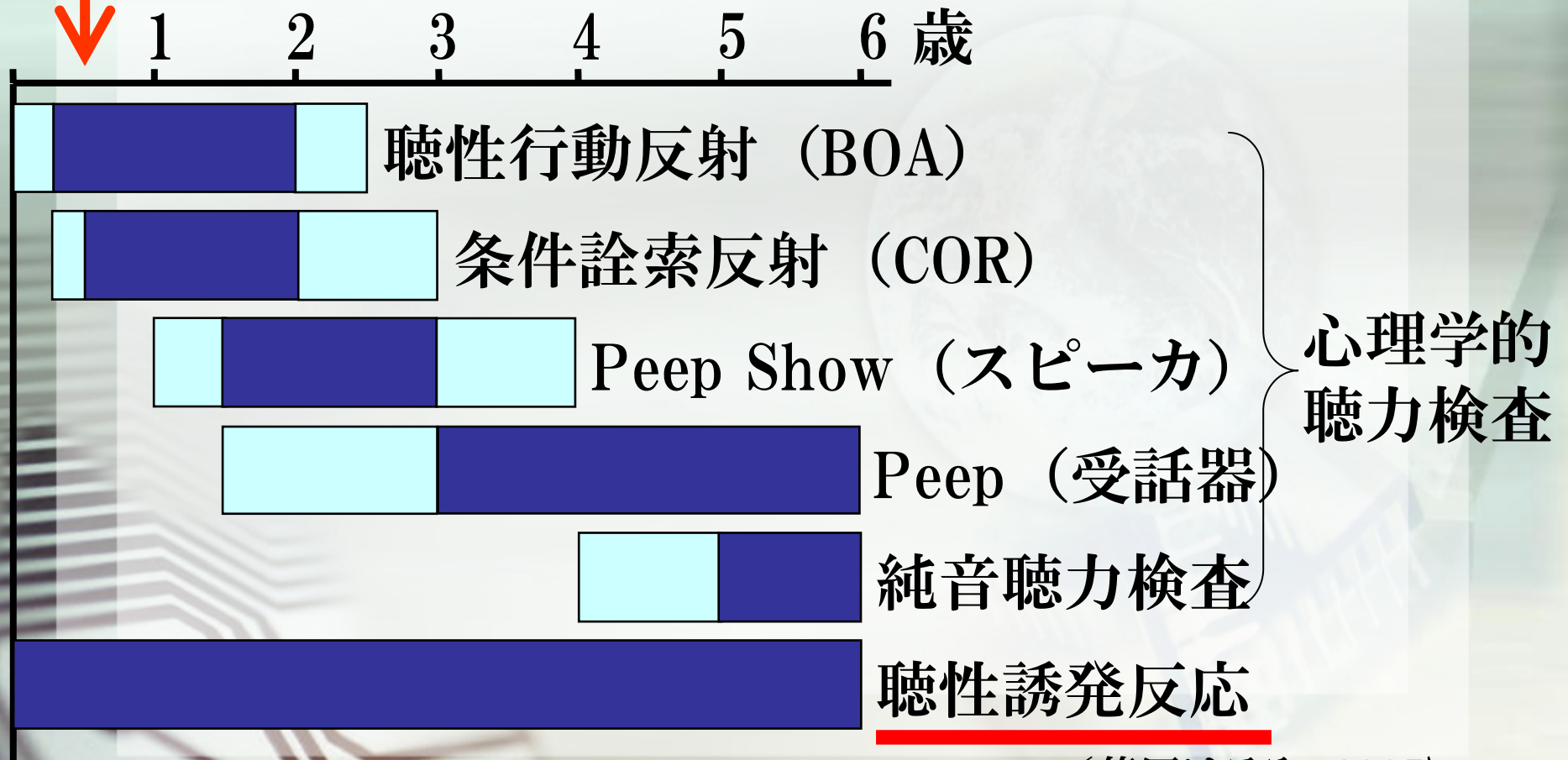
- 中等度以上の難聴児 10人 /10,000人
- 高度難聴児 8人 /10,000人
- 聾学校児童 5人 /10,000人

出来るだけ**早期**に**正確**な**聴力像**を把握し

- 補聴器のフィッティング
- 人工内耳装着
- 教育的措置(聾学校など)

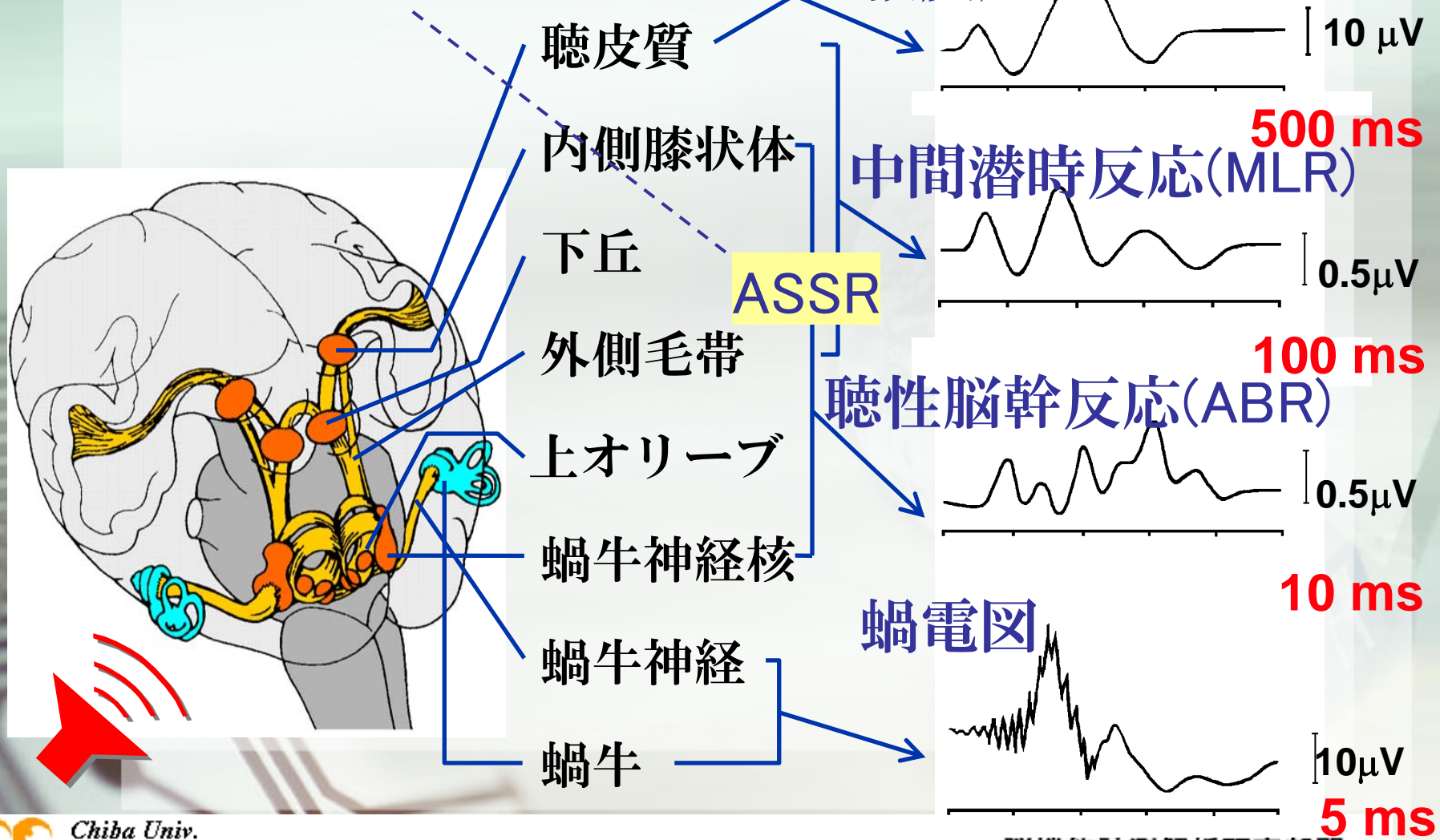
幼児聴力検査の適応年齢(青柳[1])

生後6ヶ月以内に補聴器を装用すべき



聴性誘発反応(青柳[1])

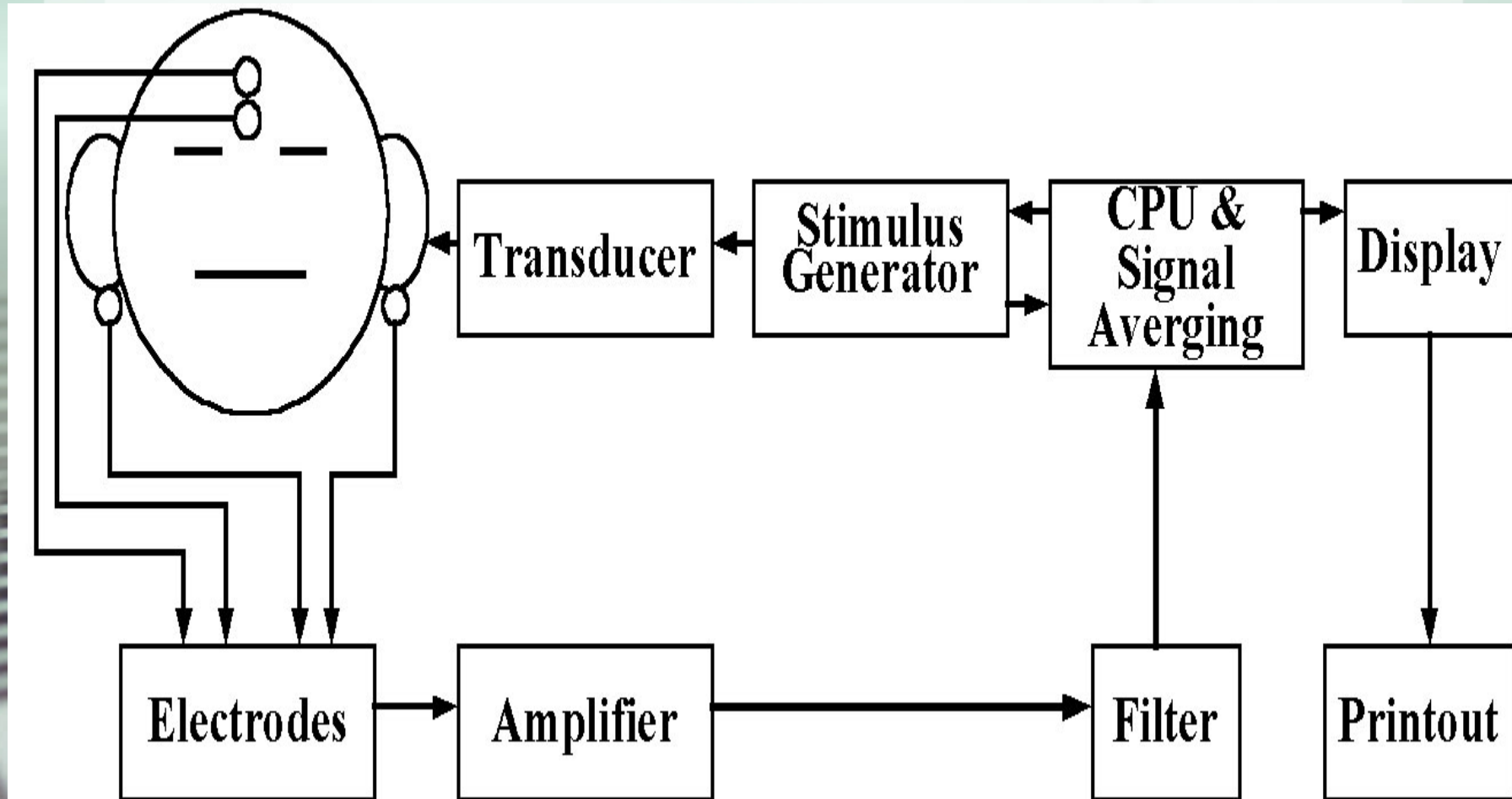
聴性定常反応(ASSR)



聴性誘発反応の臨床応用(青柳[1])

蝸電図	内耳機能	内リンパ水腫の証明、有毛細胞機能
ABR	神経学的診断	精神運動発達遅滞、胎児仮死、脳性麻痺、水頭症、自閉症、ダウン症、乳児突然死症候群 点頭てんかん、フェニールケトン尿症
		小脳橋角部腫瘍、脳幹腫瘍、脳血管障害 多発性硬化症、脊髄小脳変性症、 汎発性脳硬化症、髄膜炎、急性散在性脳脊髄炎 意識障害程度の判定、脳死の判定
		術中モニタリング
	内耳機能	蝸牛基板進行波速度の測定
ASSR	聴力検査	他覚的聴力検査法: 新生児聴覚スクリーニング 幼児聴力検査、詐聴・心因性難聴の診断 伝音難聴と感音難聴の鑑別 補充現象の証明、後迷路性難聴の診断
	聴力検査	他覚的聴力検査法(幼児聴力検査)

聴性誘発反応 (ABR & ASSR) 記録のブロックダイアグラム
Block diagram for ABR&ASSR recording



聴性誘発反応 (ABR & ASSR) 記録装置の例 Equipments for ABR&ASSR recording

日本光電(株)
国内シェア90%
以上?!



誘発電位・筋電図検査装置
MEB-9204
ABR

自動判定プログラムは
LabVIEWで作成され
ている



ASSR

製造販売 ガデリウス
Bio-logic System Corp
A natus company

誘発反応測定装置
ナビゲータープロ
580-NAVPRO
MASTER (Multiple Auditory Steady-State Evoked Response)

ハンディタイプの
AABR検査装置

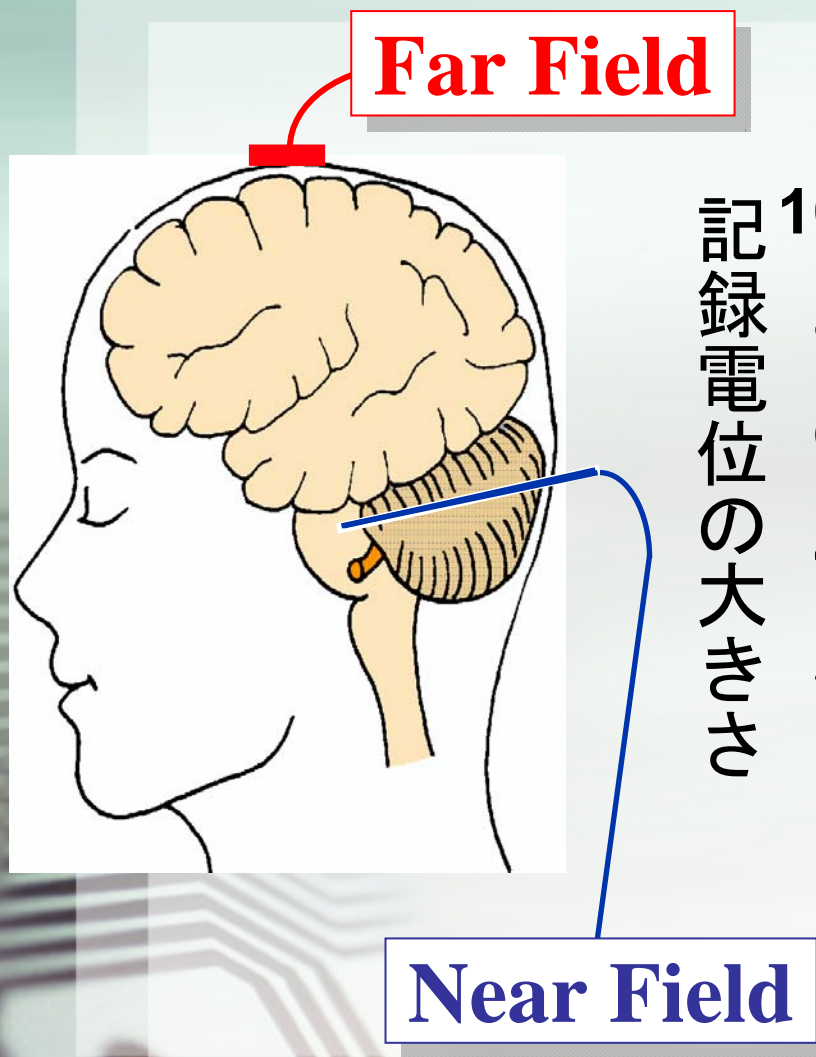
AABR
TEOAE
DPOAE



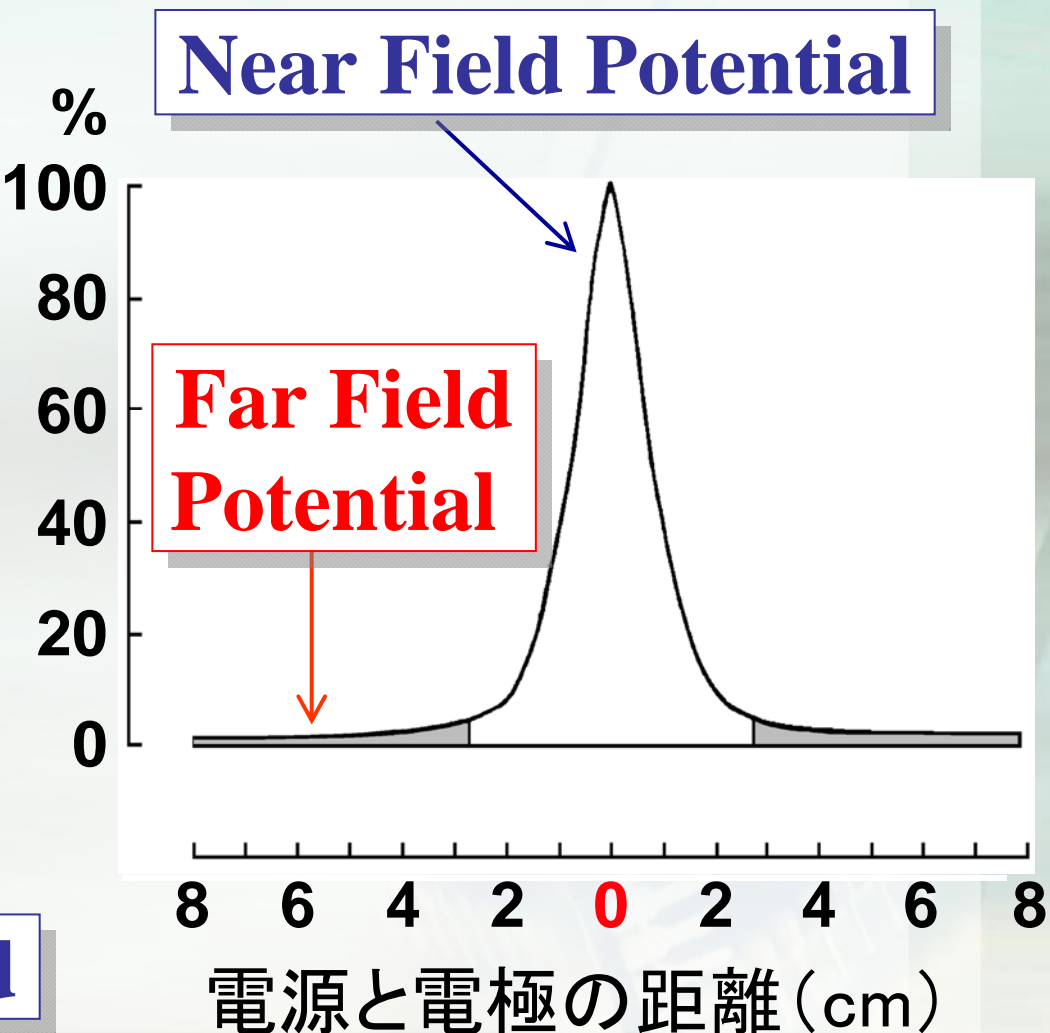
他覚的聴力検査装置
echo-screen II シリーズ
MAAS
(Modular Automated Auditory Screener)

製造販売 AVS

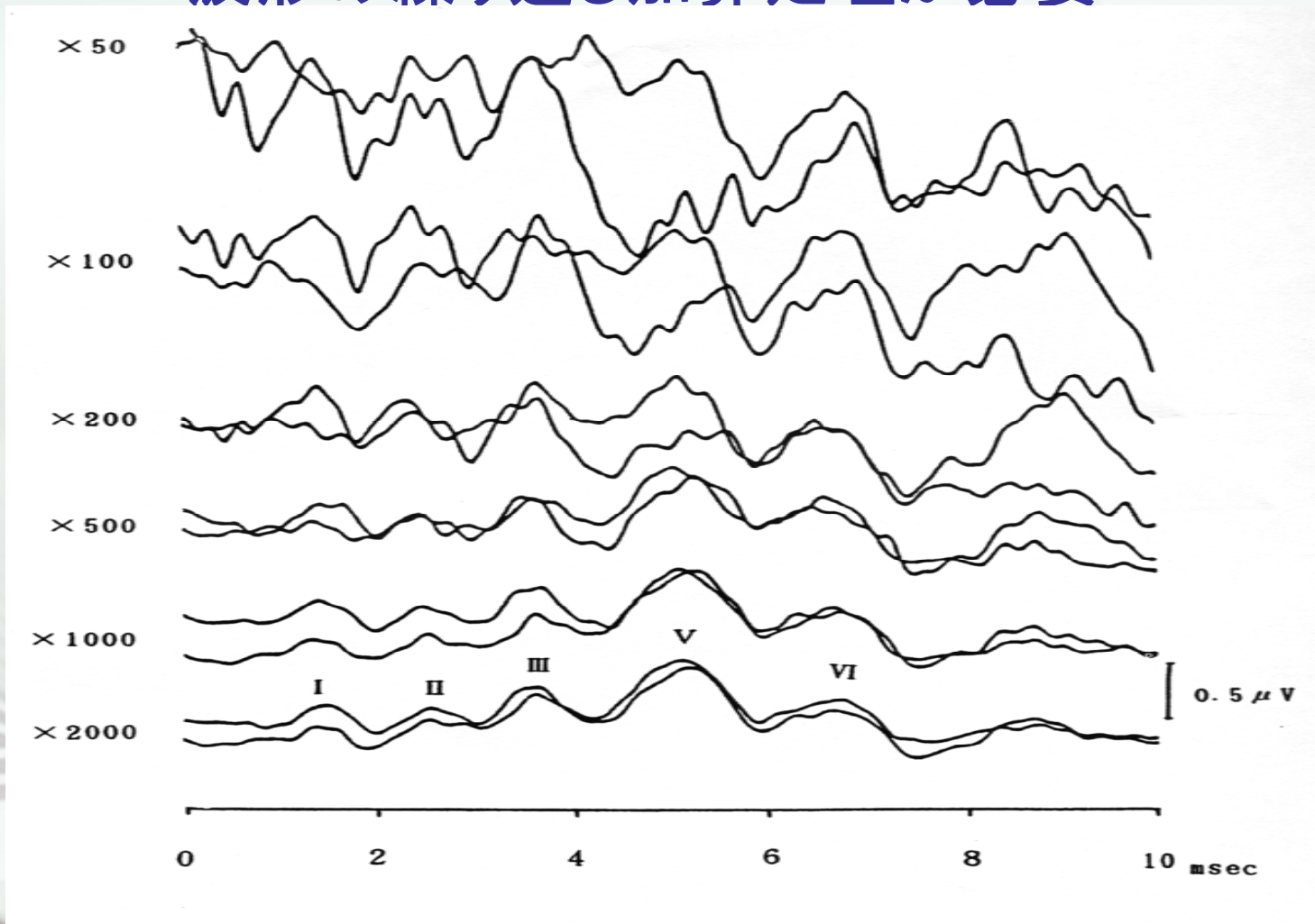
Far Field Potential & Near Field Potential (青柳[1])



記録電位の大きさ



Far Field Potential => 記録電位が微弱 波形の繰り返し加算処理が必要



課題 → ソリューション

- デジタル信号処理技術を用いて、平均加算回数を低減する波形解析装置(アルゴリズム)を作成
 - カルマンフィルタ、
 - 離散ウェーブレット変換による波形の多重解像度解析
- 検査精度向上、短時間解析、コストの低減を実現する検査装置の開発
 - LabVIEWによる解析装置のプログラムを改良し、検査時間短縮を実現する並列同時自動波形判定システムの開発
 - LabVIEWによる短時間、リアルタイム計測・解析システムの構築



波形の伝達関数推定

入出力関係式:
$$y(t) = -\sum_{i=1}^{n_a} a_i y(t-i) + \sum_{i=1}^{n_b} b_i u(t-i) + v(t) \quad t = 0, 1, \dots$$

伝達関数:
$$H(z) = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_{n_b} z^{-n_b}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{n_a} z^{-n_a}}$$

$$|H(e^{j\omega})| = \sqrt{\frac{C^2(\omega) + D^2(\omega)}{A^2(\omega) + B^2(\omega)}} \quad \Phi(\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{B(\omega)C(\omega) - A(\omega)D(\omega)}{A(\omega)C(\omega) + B(\omega)D(\omega)} \right)$$

$$A(\omega) = 1 + a_1 \cos \omega + a_2 \cos 2\omega + \dots + a_n \cos n\omega$$

$$B(\omega) = a_1 \sin \omega + a_2 \sin 2\omega + \dots + a_n \sin n\omega$$

$$C(\omega) = b_1 \cos \omega + b_2 \cos 2\omega + \dots + b_n \cos n\omega$$

$$D(\omega) = b_1 \sin \omega + b_2 \sin 2\omega + \dots + b_n \sin n\omega$$

カルマンフィルタによる波形推定

- $\theta = [a^T, b^T]^T$, 推定値:

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \underline{k}(t+1)[y(t+1) - \underline{z}^T(t+1)\hat{\theta}(t)]$$

- カルマンゲイン:

$$\underline{k}(t+1) = \frac{\underline{R}(t)\underline{z}(t+1)}{\hat{\sigma}_v^2(t+1) + \underline{z}^T(t+1)\underline{R}(t)\underline{z}(t+1)}$$

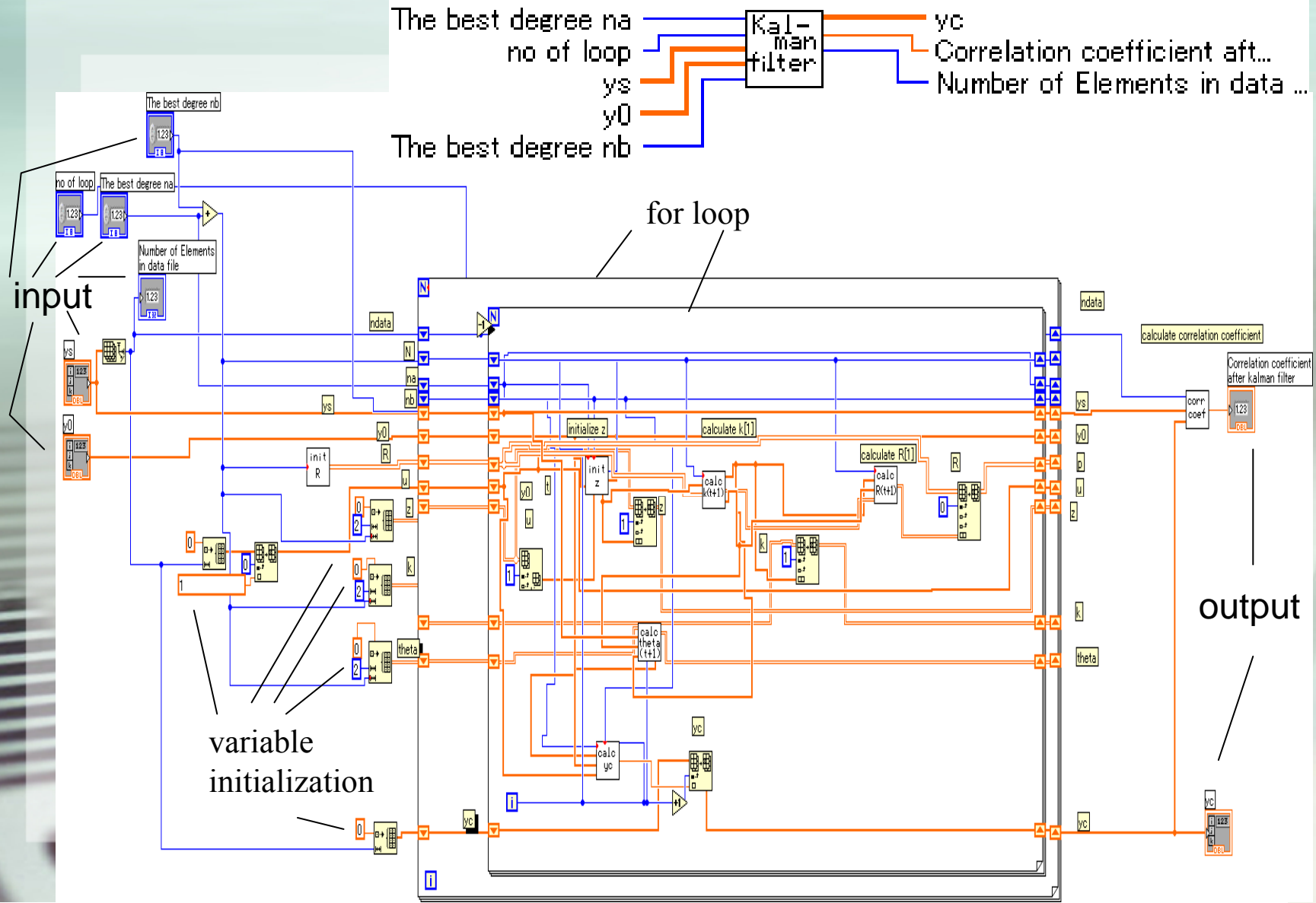
$$\underline{R}(t+1) = [\underline{I} - \underline{k}(t+1)\underline{z}^T(t+1)]\underline{R}(t)$$

$$\hat{v}(t+1) = y(t+1) - \underline{z}^T(t+1)\hat{\theta}(t)$$

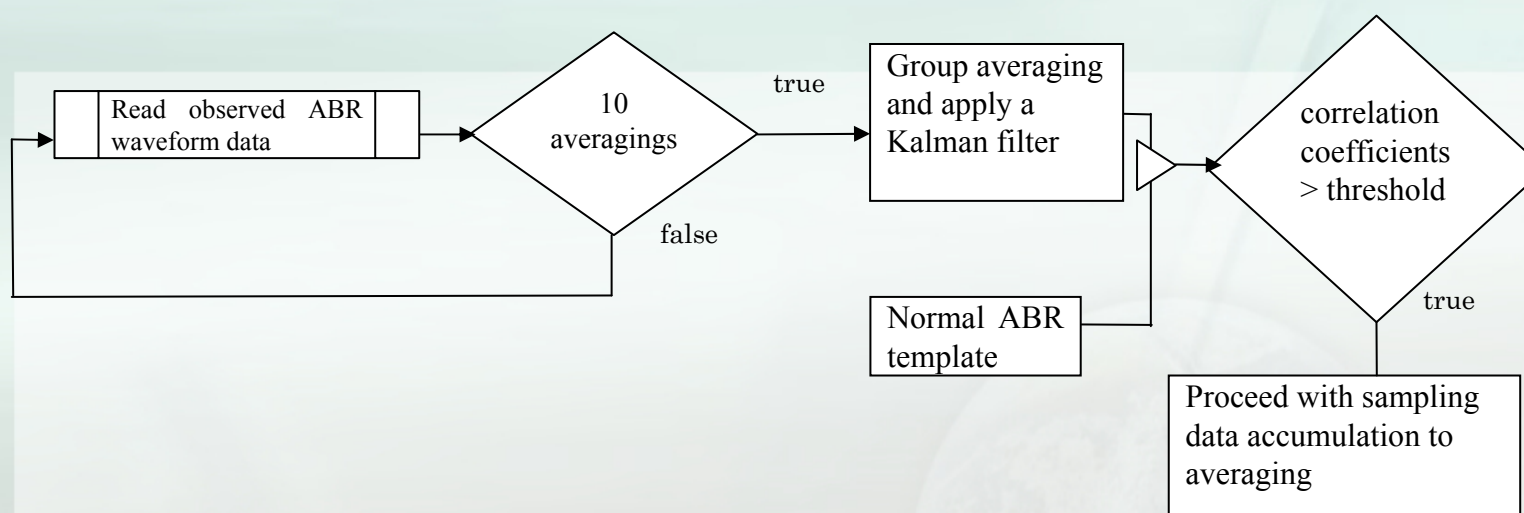
$$\hat{\sigma}_v^2(t+1) = \frac{1}{t+1} \sum_{i=0}^t \hat{v}^2(i+1)$$

$$\underline{z}(t+1) = \begin{pmatrix} -y(t) \\ \vdots \\ -y(t-n+1) \\ u(t) \\ \vdots \\ u(t-n+1) \end{pmatrix}$$

カルマンフィルタ(sub_vi)のブロックダイアグラム



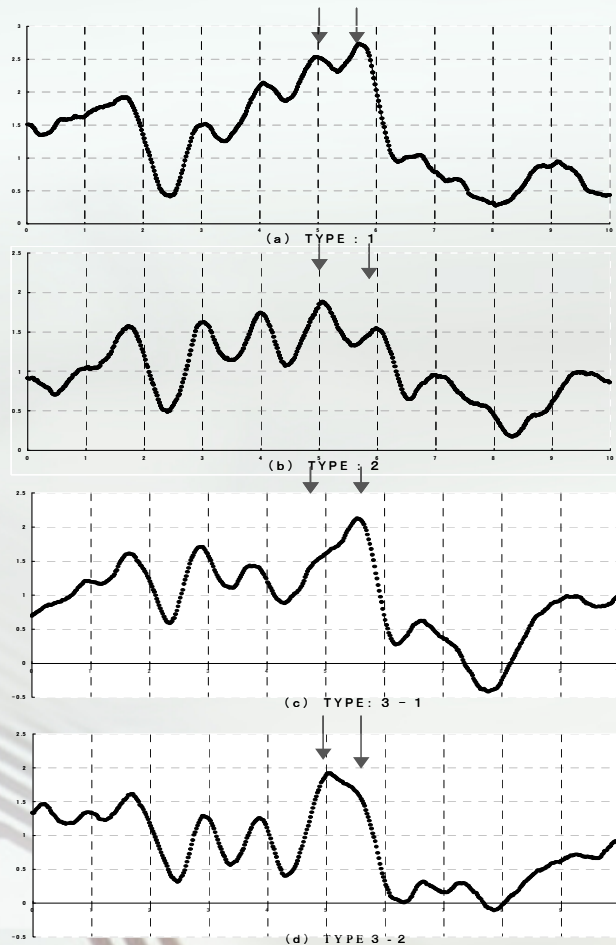
並列自動ABR波形判定のアルゴリズム



- ・10回平均加算して得られたABR観測波形をもとにしてカルマンフィルタによる推定を行う。
- ・その際のモデル波形(目的関数)は正常ABR波形テンプレートである。
- ・その結果、得られた推定値とテンプレートとの相関度が、前の10回平均加算した波形の比較結果より低い値になっている場合、その平均加算波形を平均加算処理に追加しない。
- ・この処理を繰り返し、相関度が水準に達した際に処理を終了する。

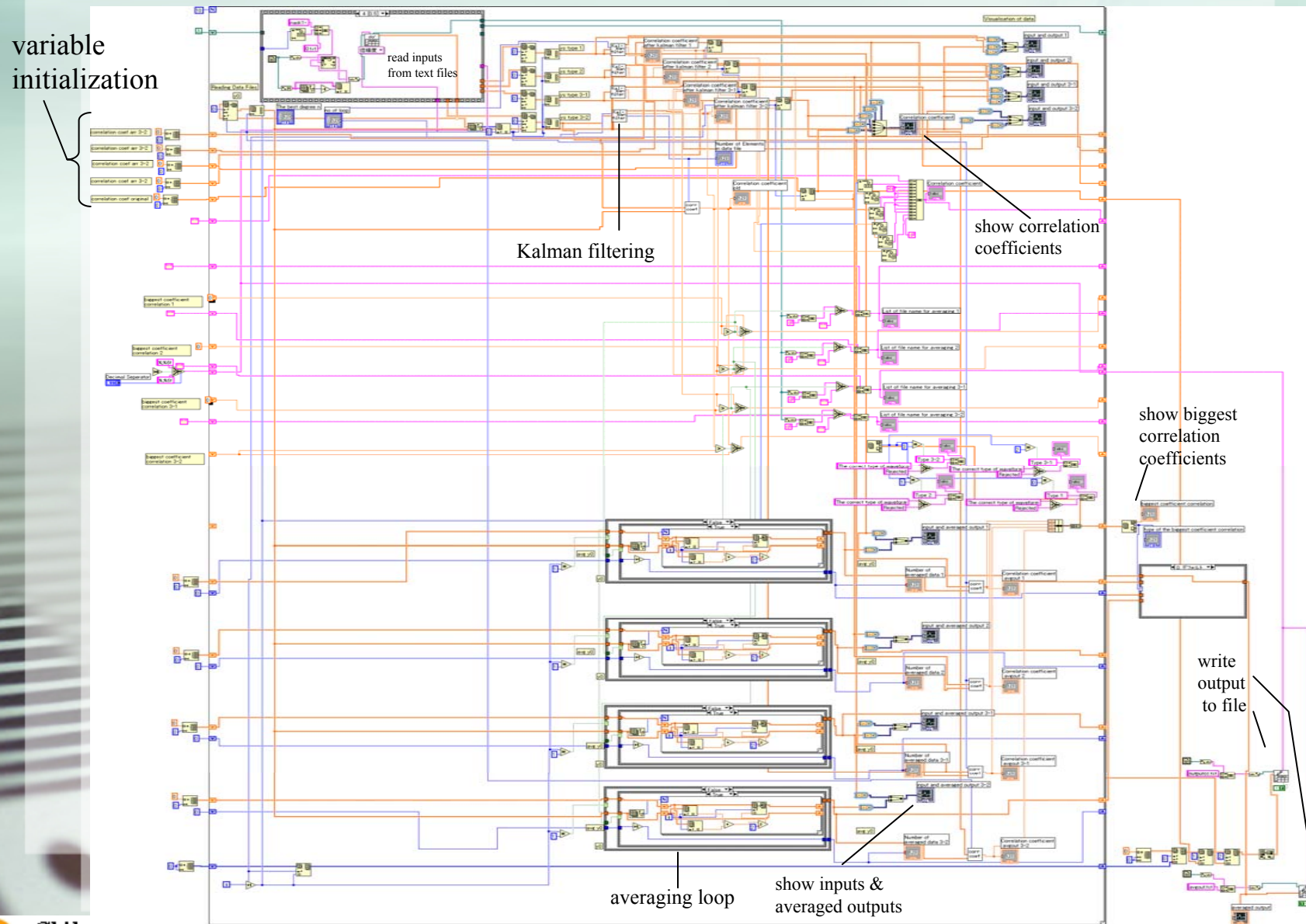
複数のモデル波形に対して、この処理を並列的にかつ、同時に平均加算波形の適正を自動判定する。(表示例は、4つのモデル波形を用いる)

正常ABRのバリエーション(20歳男性)



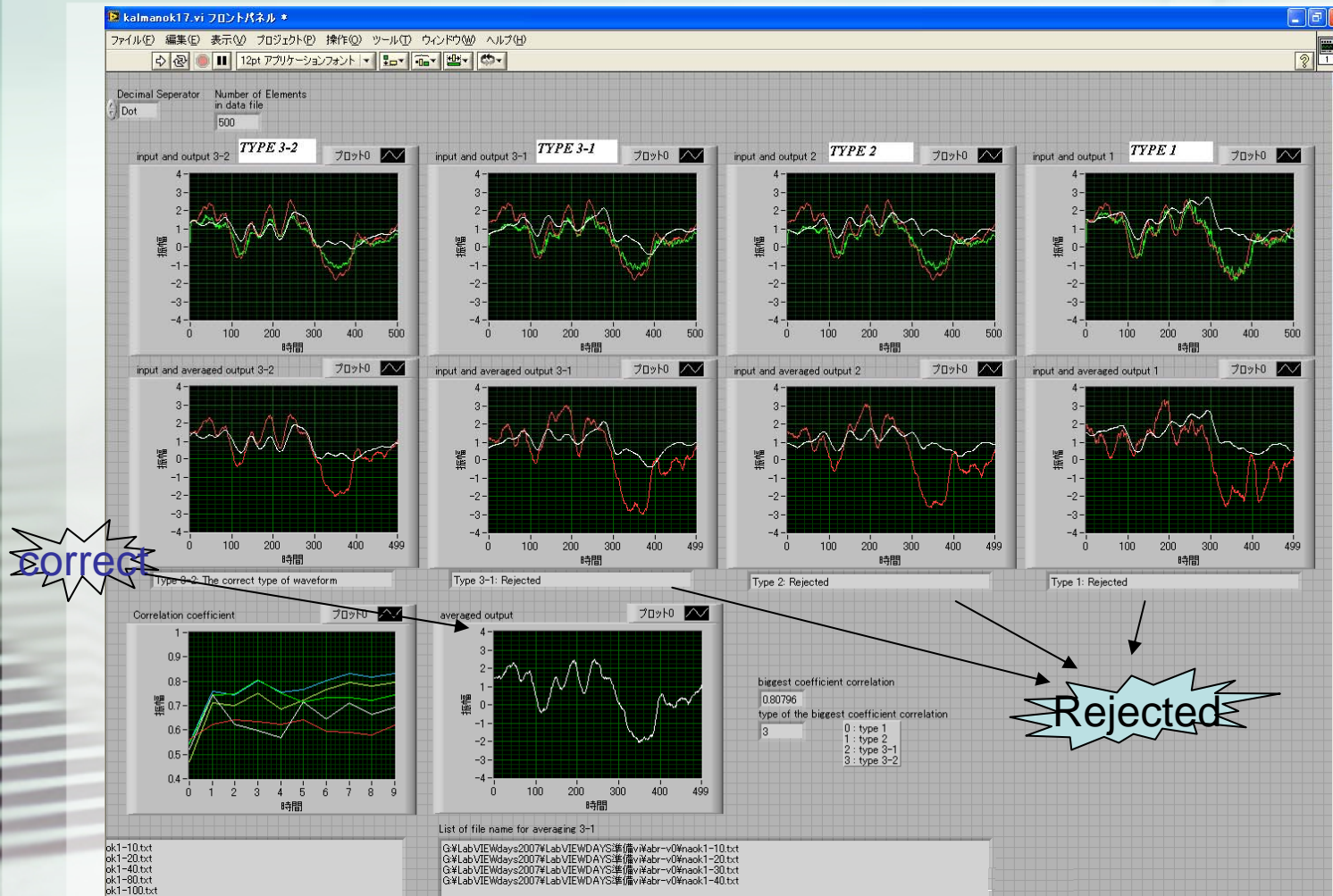
ABRの最大振幅反応は、第IV波、第V波であるが、正常な場合の波形が常に同じとは限らない。正常であれば、潜時はある程度一定の幅におさまる。

並列自動ABR波形判定サブVIのブロックダイアグラム

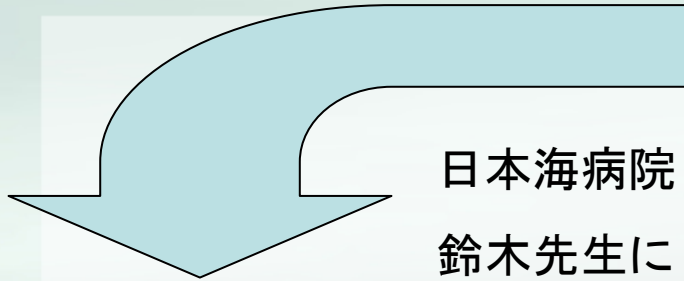


並列同時自動ABR波形判定処理

DEMO1



ASSR波形データ解析例



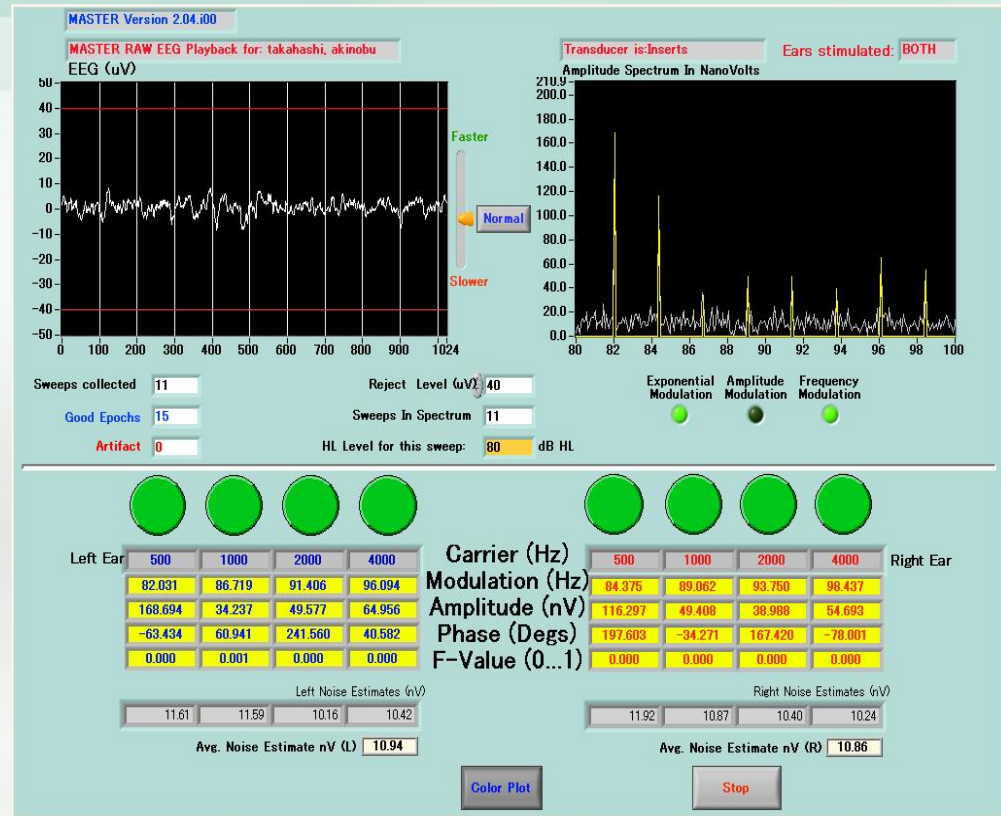
日本海病院
鈴木先生による測定
(4歳男子)

ASSR波形データ:
BRWファイル保存

波形データの
切り出し

- 70 dB : 512 epochs --> 32 sweeps
- 60 dB : 474 epochs --> 29 sweeps
- 80 dB : 184 epochs --> 11 sweeps
(1 sweep = 16 epochs)

Output Window: MASTER Software



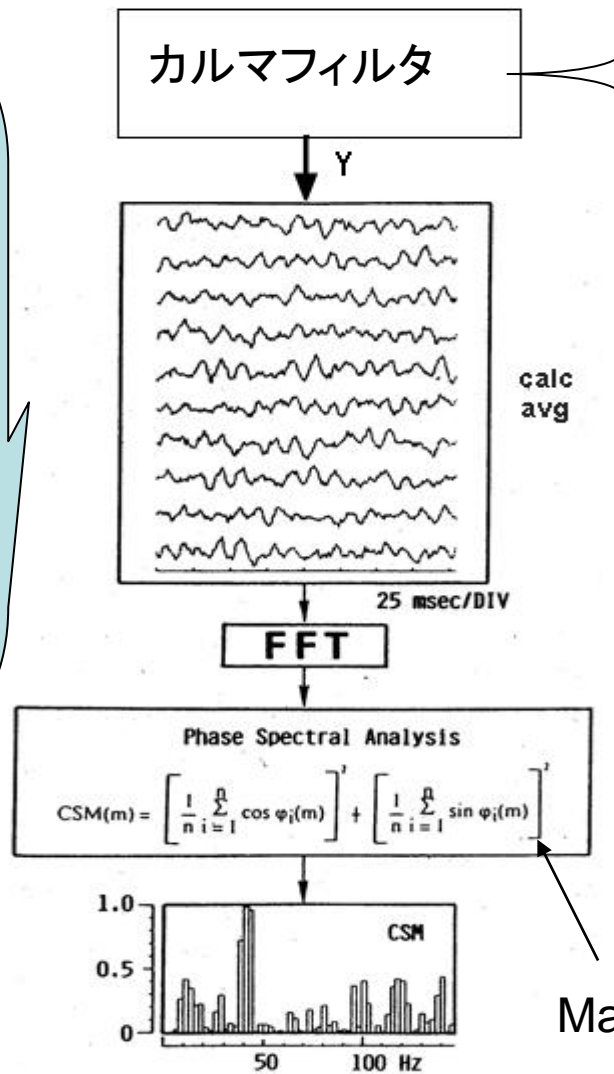
左耳

右耳

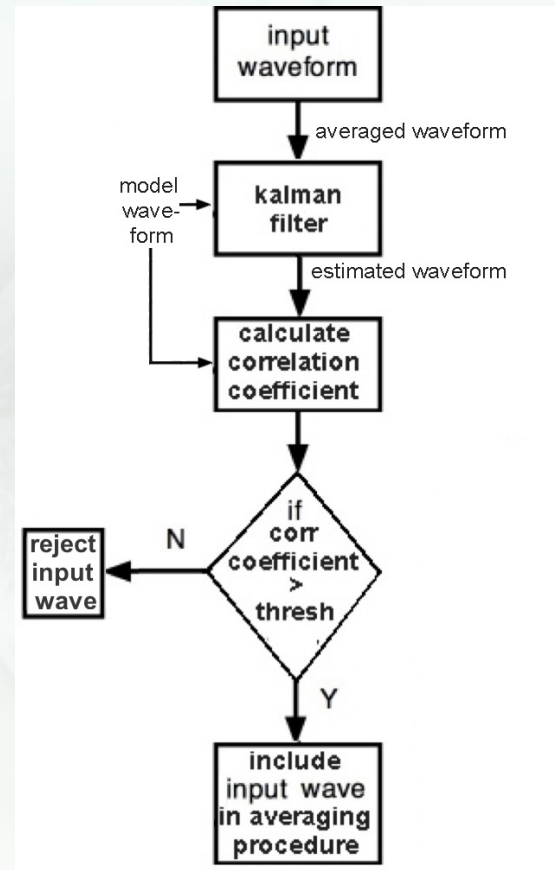
CF	0.5 kHz	MF	82.031Hz	CF	0.5 kHz	MF	84.375Hz
	1 kHz		86.719Hz		1 kHz		89.062Hz
	2kHz		91.406Hz		2 kHz		93.750Hz
	4kHz		96.094Hz		4 kHz		98.4371Hz

並列自動ASSR判定のアルゴリズム

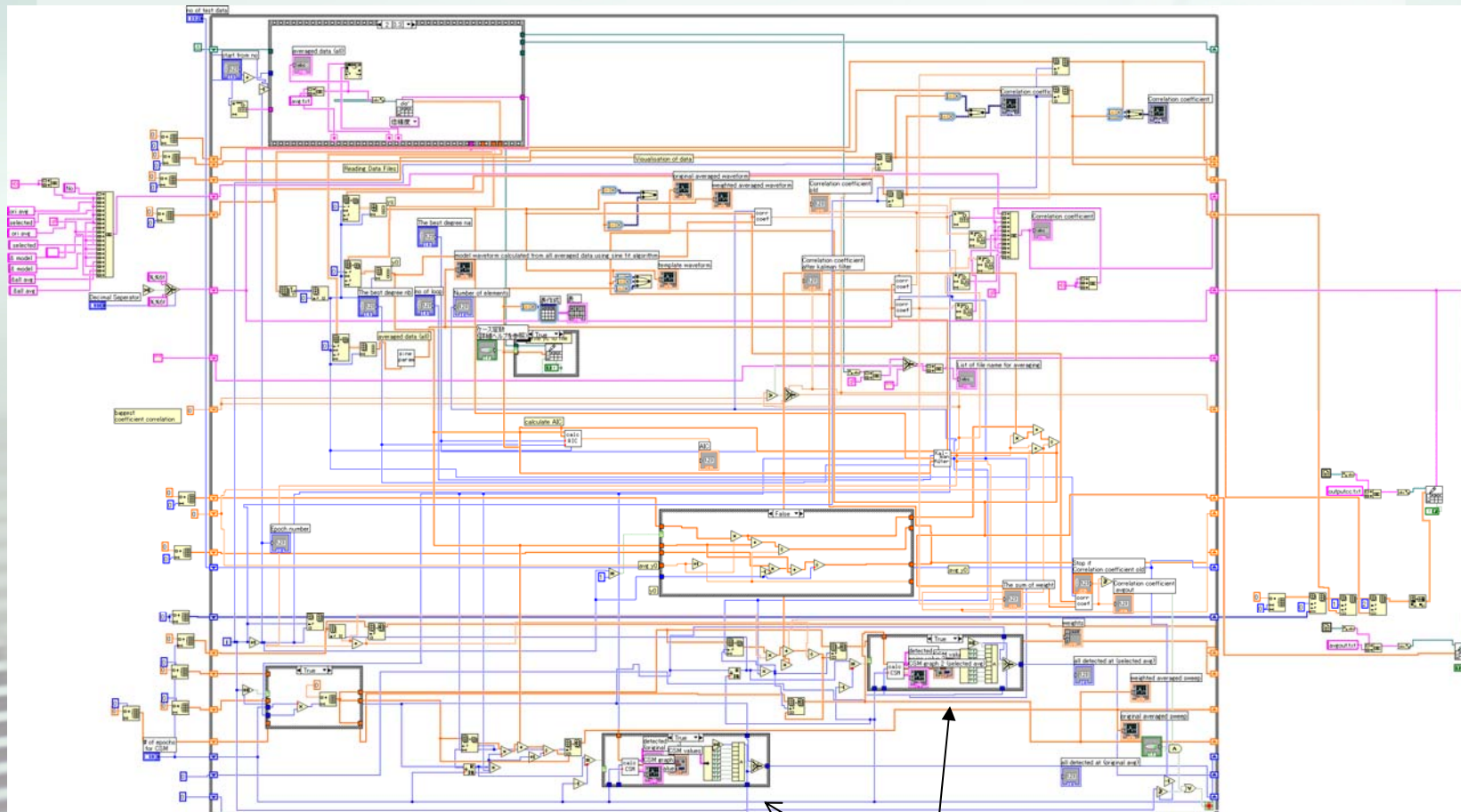
CSMによるASSR自動判定処理(青柳)にカルマンフィルタによる加算回数低減処理を追加



Mardiaの式



並列自動ASSR判定サブVIのブロックダイアグラム



CSMの計算.viは青柳・鈴木作成のものを使用

並列同時自動ASSR波形判定処理

DEMO2

input filename: %SIP07_SIM_ASS input file extension: .txt start from no: 0 no of test data: 184 model filename: estimatedsine.txt averaged data (all): %SIP07_SIM_ASSR Number of elements: 1024

F:\SIP07_SIM_ASSR\data\ta2\%80db\%epochtadb183.txt

The best degree na: 11 The best degree nb: 8 no of loop: 1

AIC: 16215.4 Correlation coefficient old: 0.62655E Correlation coefficient after kalman filter: 0.801064

of epochs for CSM: 16

yc			
-2.390180			
2.345636			
-16.640660			
-38.845041			
-46.763936			
-40.007857			
-26.126803			
-31.977568			
-24.368755			
-22.786638			
6.318558			
17.961909			
38.813307			

Number of averaged data: 99 Correlation coefficient avgout: 0.644364

No	ori avg & model	selected & model	ori avg & all avg	selected & all avg
1	0.077281	0.200883	0.166660	0.166660
2	0.106176	0.218379	0.218020	0.218020
3	0.132929	0.188823	0.172480	0.218020
4	0.133076	0.180568	0.187757	0.218020
5	0.181286	0.282105	0.213695	0.244786
6	0.175049	0.286811	0.211486	0.237976
7	0.197625	0.303644	0.209911	0.231215
8	0.221942	0.320959	0.228351	0.251044
9	0.237574	0.337993	0.243624	0.263983
10	0.239626	0.319313	0.245385	0.263983
11	0.244658	0.342672	0.279631	0.311071
12	0.246491	0.327438	0.259892	0.311071
13	0.274263	0.377685	0.294460	0.343146
14	0.288869	0.393272	0.334565	0.384774
15	0.307727	0.413917	0.341200	0.396327

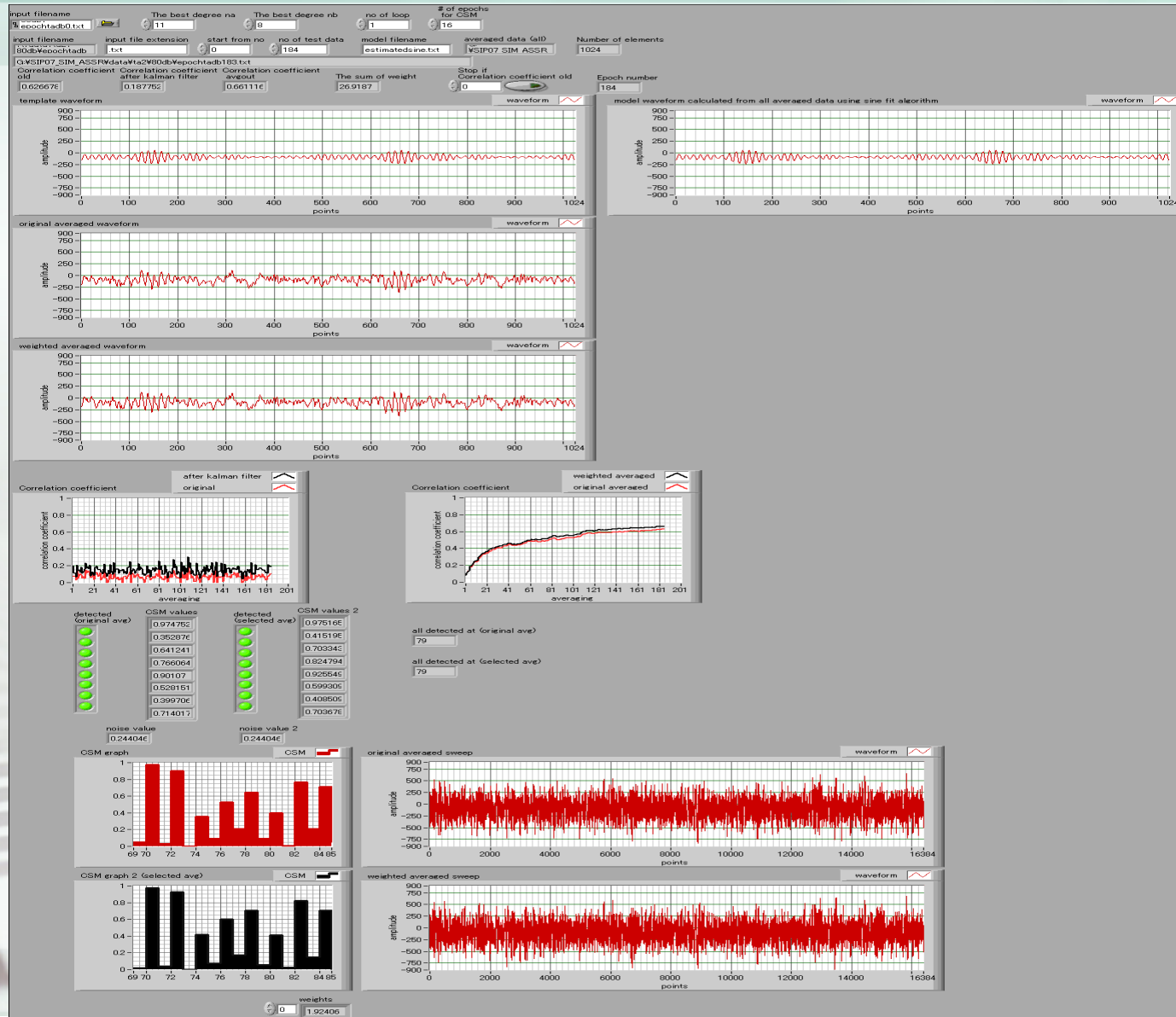
model, original avg and kalman output

model and averaged output

Correlation coefficient

並列同時自動ASSR波形判定処理

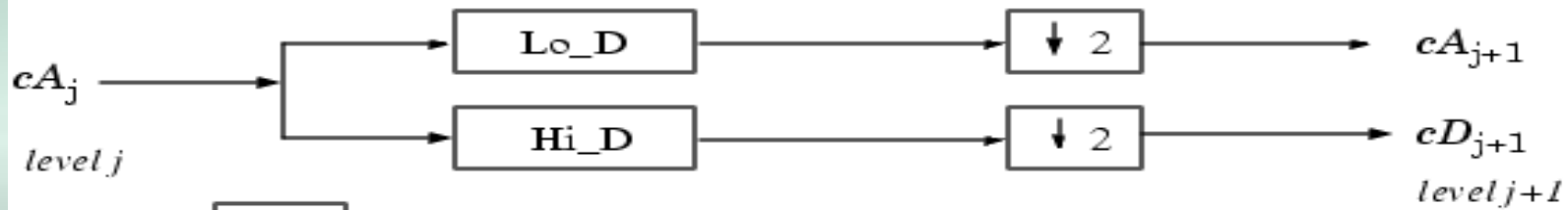
DEMO3



離散Wavelet変換(DWT)による多重解像度解析

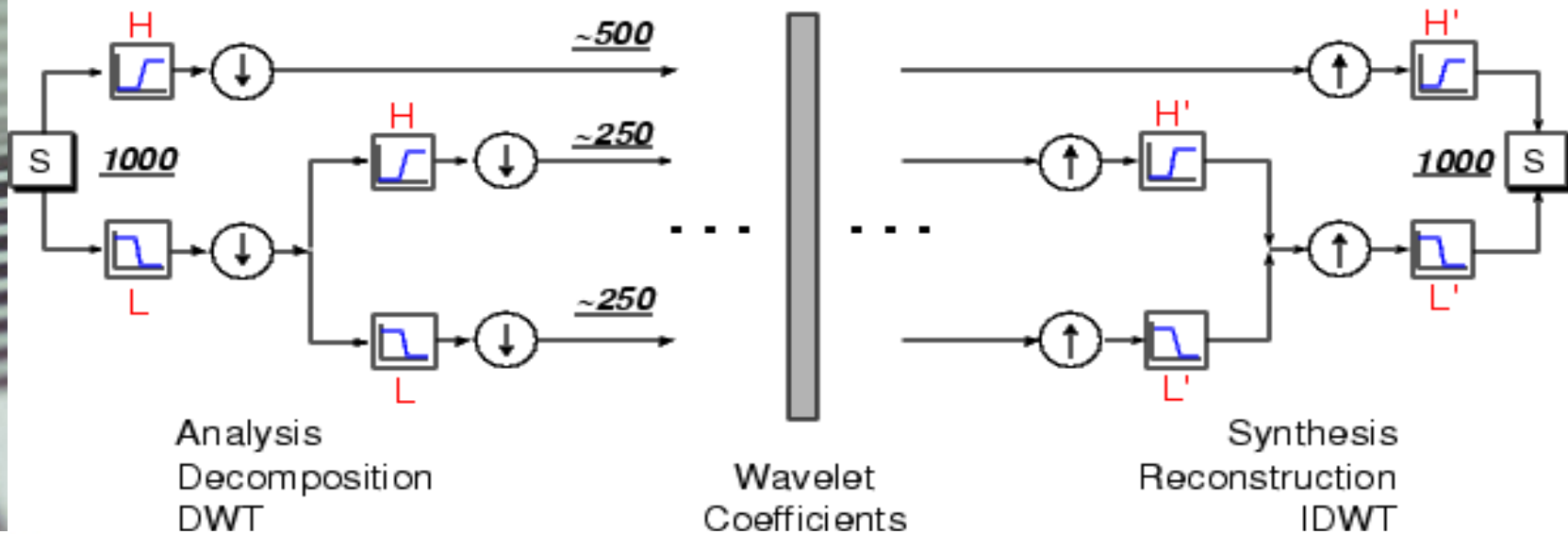
One-Dimensional DWT

Decomposition Step



where \boxed{X} Convolve with filter X.
 $\boxed{\downarrow 2}$ Downsample.

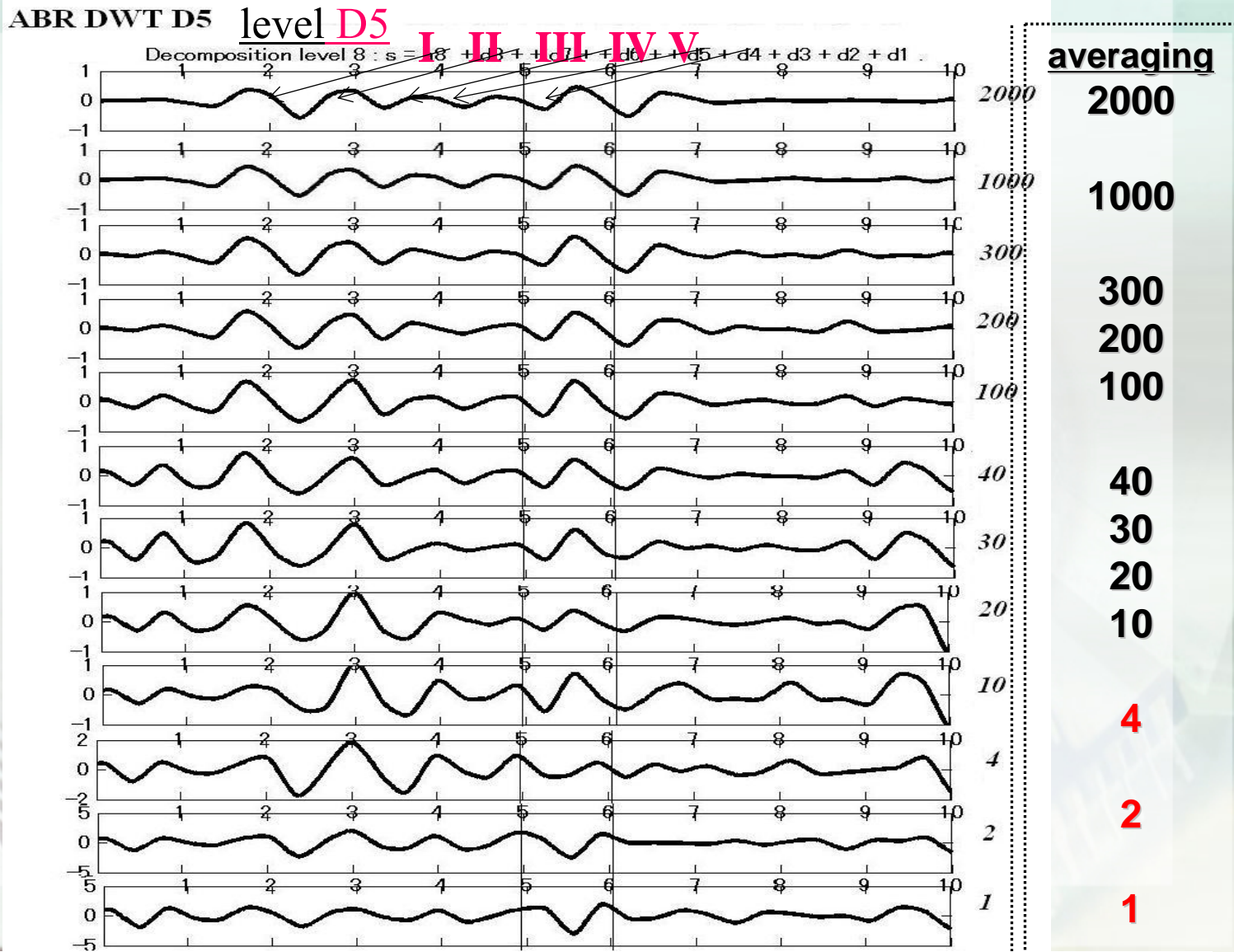
Initialization $cA_0 = s.$



DWT多重分解レベルとABR構成周波数

分解レベル	構成周波数	Frequency band: 781 - 1562 Hz
D1	12500 - 25000 Hz	Corresponding of fast ABR component (using screening)
D2	6250 - 12500 Hz	
D3	3125 - 6250 Hz	
D4	1562 - 3125 Hz	
D5	781 - 1562 Hz	
D6	390 - 781 Hz	
D7	195 - 390 Hz	
D8	97 - 195 Hz	
A8	0 - 97 Hz	

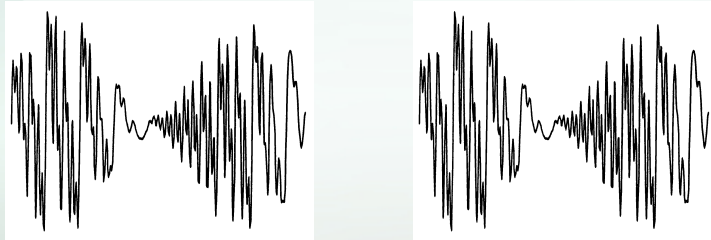
An example of the reconstructed ABR DWT



(MASTERによる) ASSRのメカニズムとDWT多重分解構成周波数

MASTER(Picton, Lins, et al, 1995)

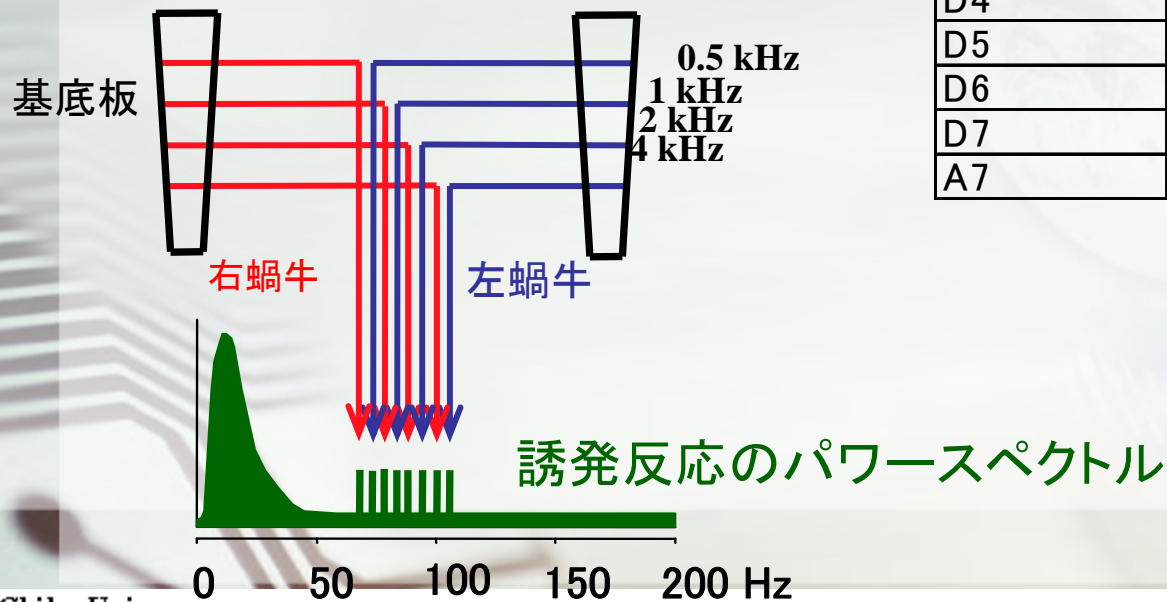
入力音刺激 両耳同時



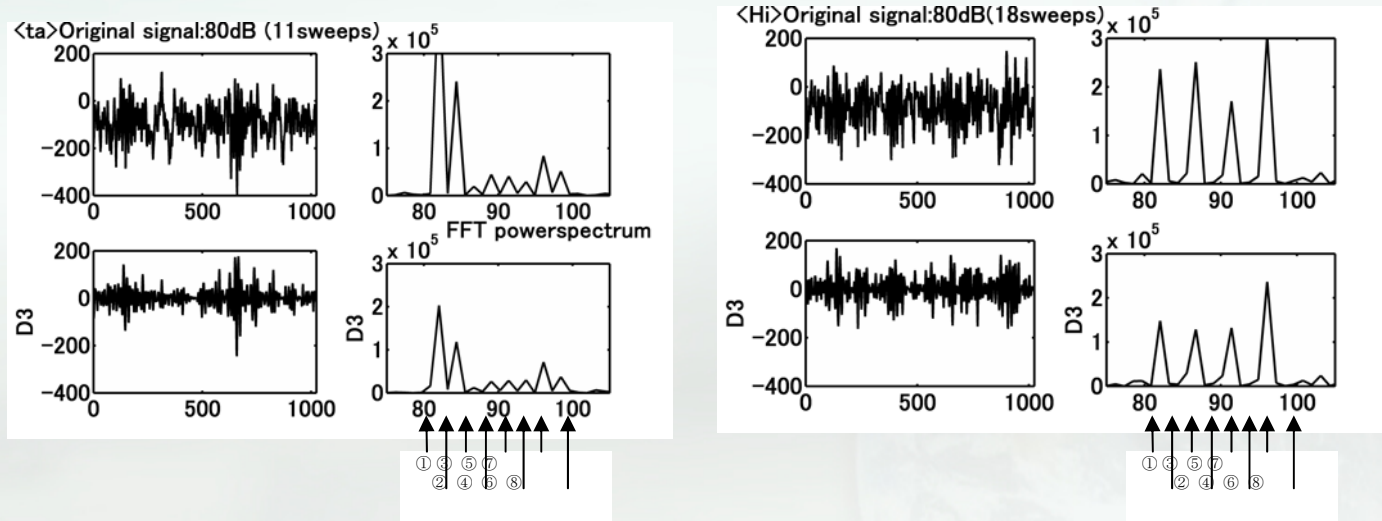
CF 0.5 kHz	MF 77 Hz	CF 0.5 kHz	MF 81 Hz
CF 1 kHz	MF 85 Hz	CF 1 kHz	MF 89 Hz
CF 2 kHz	MF 93 Hz	CF 2 kHz	MF 97 Hz
CF 4 kHz	MF 101 Hz	CF 4 kHz	MF 105 Hz

DWT多重分解レベルD3
にMASTERによるASSR
反応のパワースペクトル
が含まれる

分解レベル	構成周波数	
D1	250 - 500	Hz
D2	125 - 250	Hz
D3	62.5 - 125	Hz
D4	31.25 - 62.5	Hz
D5	15.625 - 31.25	Hz
D6	7.8125 - 15.625	Hz
D7	3.90625 - 7.8125	Hz
A7	0 - 3.90625	Hz

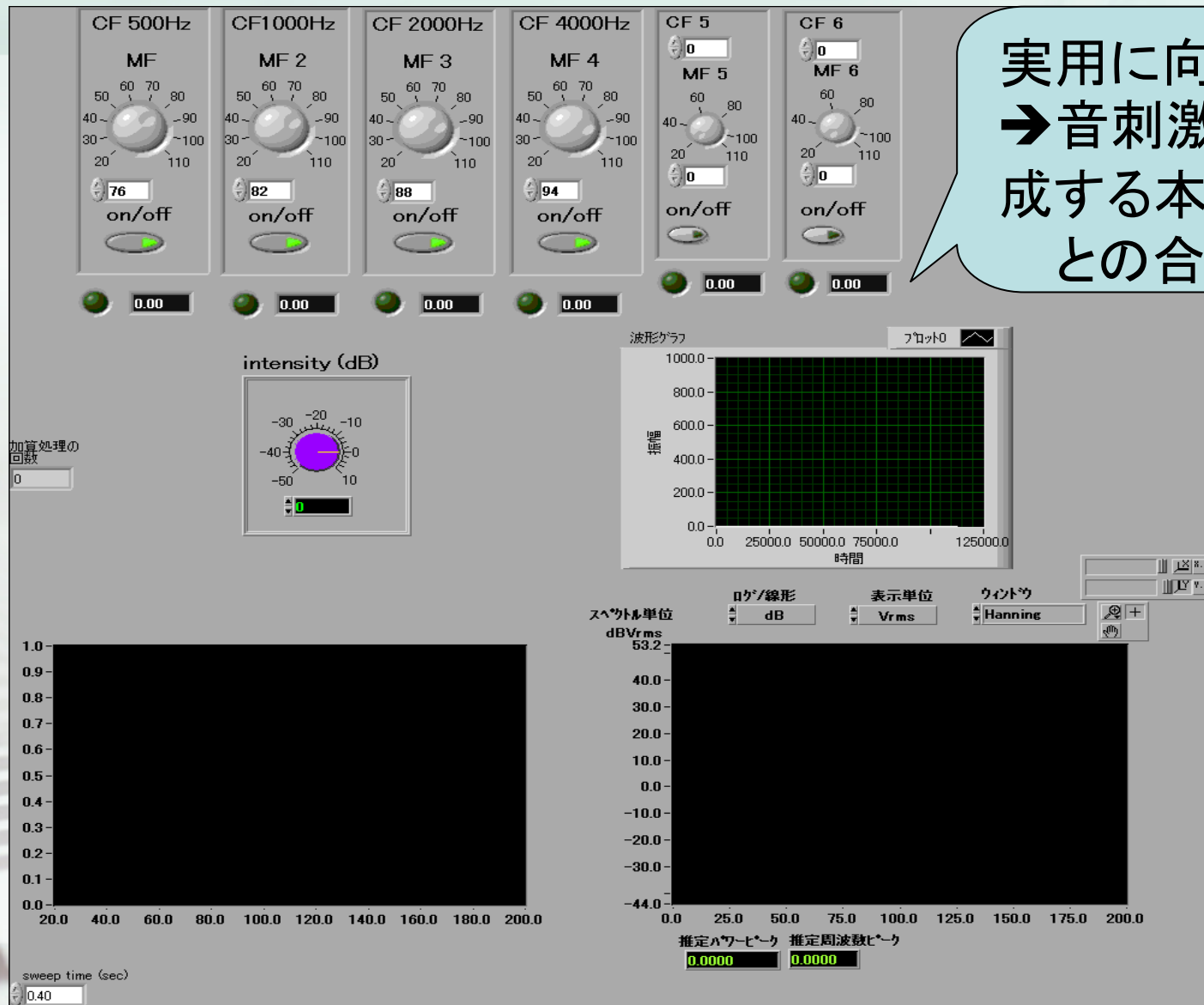


An example of the reconstructed ASSR DWT level **D3**



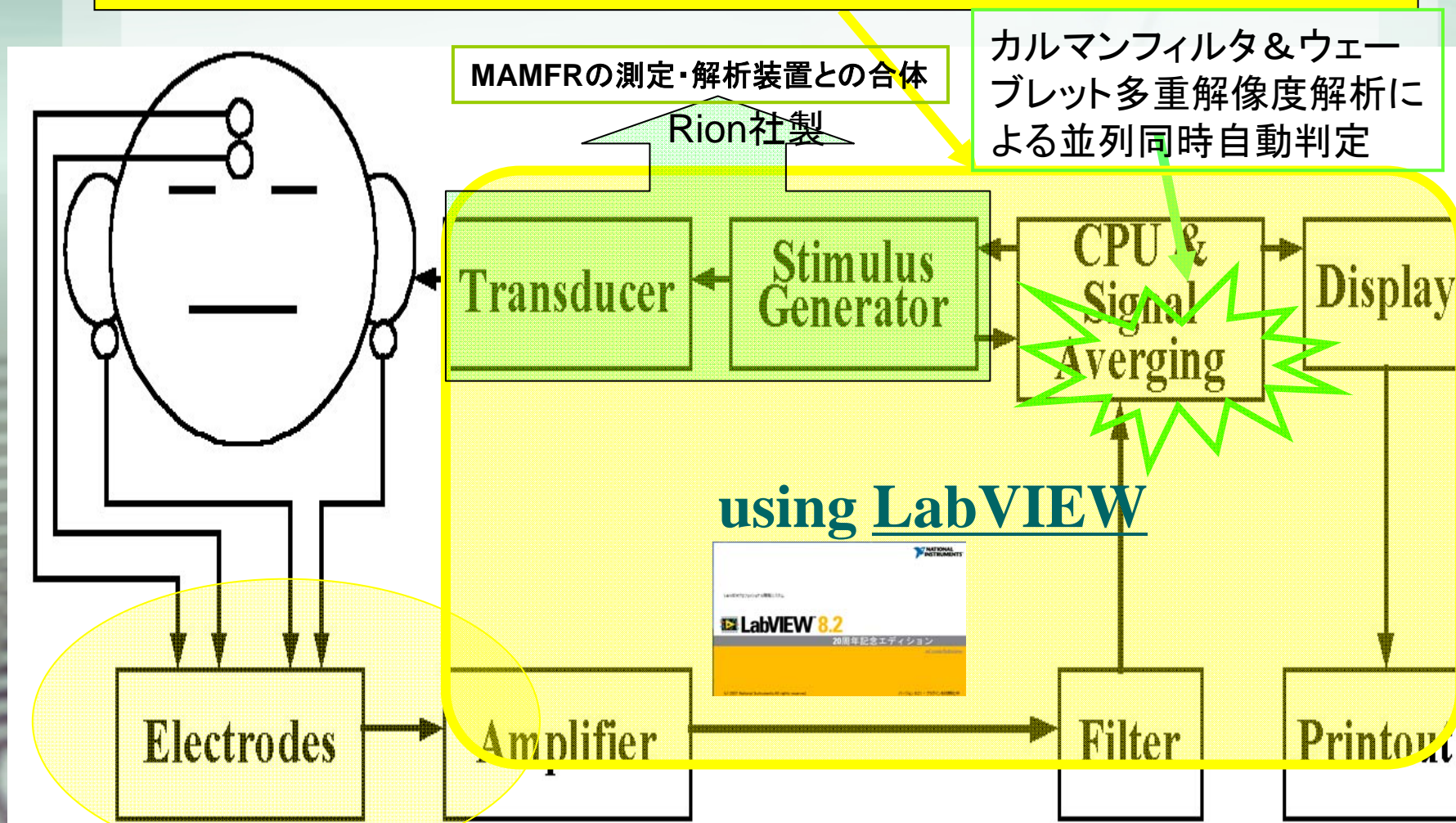
- ① 左耳 500Hz/82.031Hz, ② 右耳 500Hz/84.375Hz, ③ 左耳 1000Hz/86.719Hz,
 ④ 右耳 1000Hz/89.062Hz, ⑤ 左耳 2000Hz/91.406Hz, ⑥ 右耳 2000Hz/93.750Hz,
 ⑦ 左耳 4000Hz/96.094Hz, ⑧ 右耳 4000Hz/98.437Hz を示す

AMFRの測定・解析装置(青柳先生・鈴木先生作成)



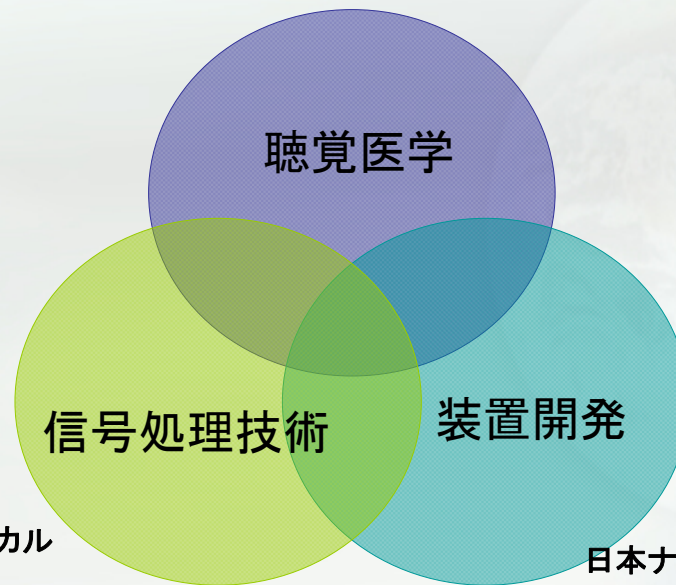
実用に向けて
→音刺激も生成する本装置との合体

これから目指すこと: 聴性誘発反応 (ABR & ASSR) 検査装置の完成



共同研究チーム

山形大医学部青柳優教授
県立日本海病院 鈴木豊先生



千葉大
フロンティアメディカル
脳機能計測
信号処理

装置開発協力
日本ナショナルインスツルメンツ
株式会社リオン



引用文献

1. 青柳優:聴性定常反応、第16回日本耳科学会ランチオンセミナー、平成18年10月19日、ホテル青森
2. 青柳優:聴性定常反応、その解析法・臨床応用と起源、2004、リオン株式会社
3. 鈴木豊, 大竹祐輔, 青柳優:汎用パソコンを利用した誘発反応検査システム, *Oto-Rhino-Laryngology*, Tokyo, 44:補2, 60-68, 2001
4. 鈴木豊, 大竹祐輔, 伊藤吏・他:複合振幅変調音を用いた聴性定常反応(AMFR)の計測システム, *Oto-Rhino-Laryngology*, Tokyo, 45:補2, 85-91, 2002
5. M. S. John, T. W. Picton: MASTER: a Window program for recording multiple auditory steady-state responses, *Comput. Methods Programs Biomed.* 61 : 125-150, 1998
6. 井川信子, 谷萩隆嗣:カルマンフィルタを適用した聴性脳幹反応の特徴抽出とモデル化。 *Journal of Signal Processing* 8 No.4:335-349, 2004
7. N. Ikawa, T. Yahagi : Feature Extraction and identification of transfer function of auditory brainstem response, *Journal of Signal Processing*, Vol. 8, No. 6 : 473-484, 2004
8. N. Ikawa, Yahagi T, Jiang H: Waveform analysis based on latency-frequency characteristics of auditory brainstem response using Wavelet transform。 *Journal of Signal Processing* 9 No.6:505-518, 2005
9. N. Ikawa, Kusuma Dewi, Takashi Yahagi : Construction of Virtual Instrument for Automated Optimal Averaging of Auditory Brainstem Response Waveforms using Kalman Filter, *Journal of Signal Processing*, Vol. 10, No. 6,pp. 441-451, 2006
10. Kusuma Dewi: Averaging of Auditory Steady-State response waveforms using Kalman filter 千葉大学大学院自然科学研究科修士論文, 2007.3
11. 井川, 鈴木, 青柳, 谷萩:Wavelet変換によるASSR波形の特徴抽出, *Audiology Japan* 投稿中
12. 魏, 井川, 呂, 谷萩:カルマンフィルタによる聴性定常反応波形の自動加算装置の開発, 第22回信号処理シンポジウム 投稿中

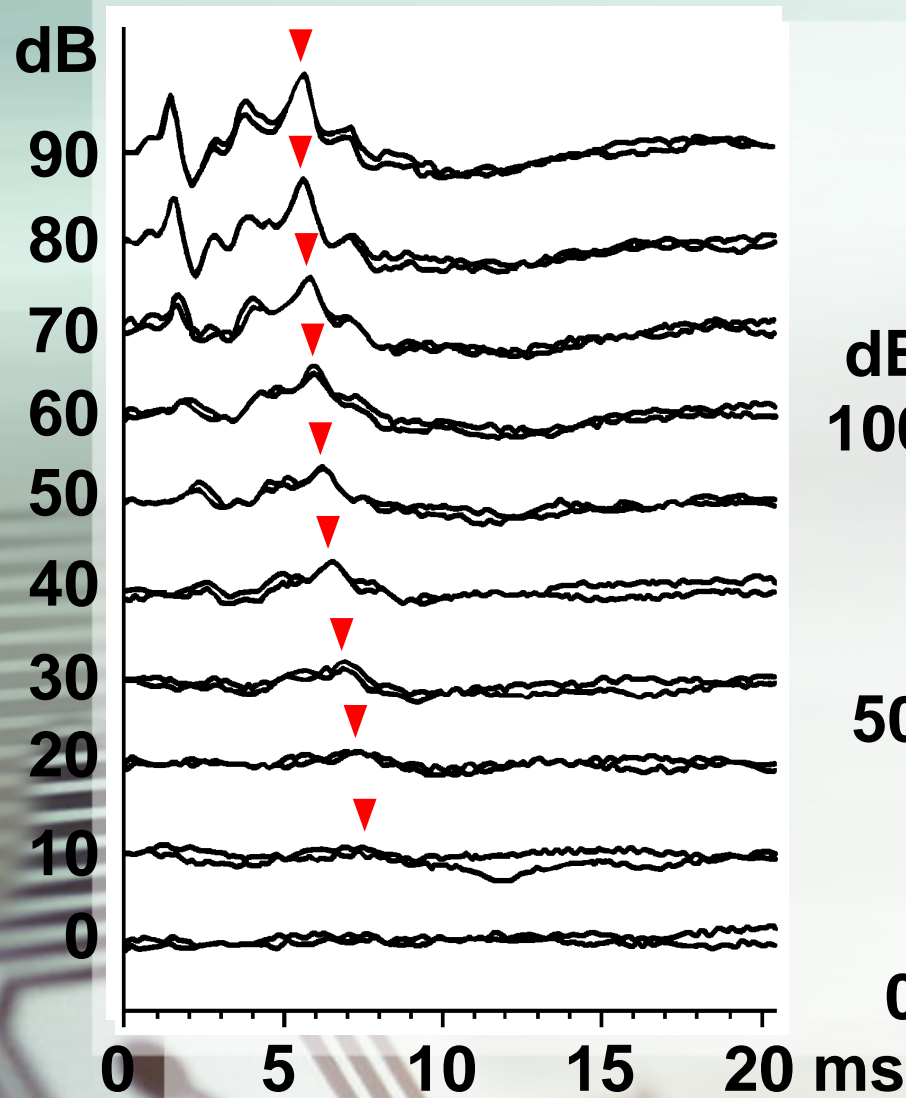


以上で講演を終了します

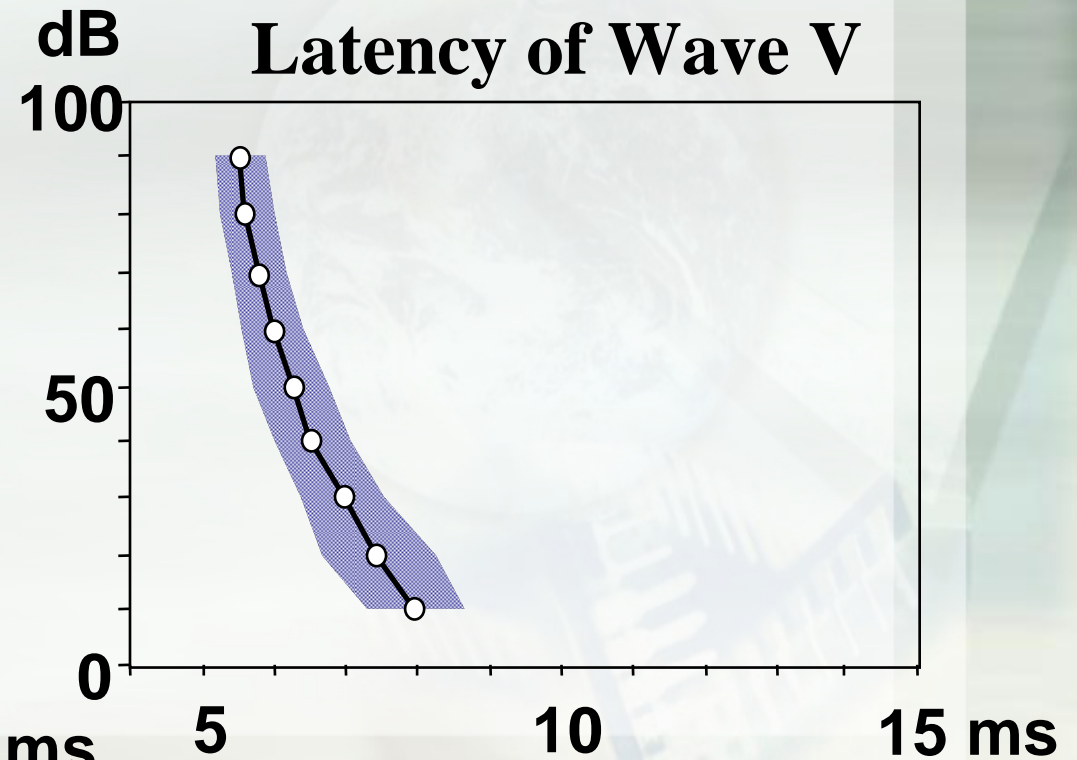


以降のスライドは、
予 備 です。

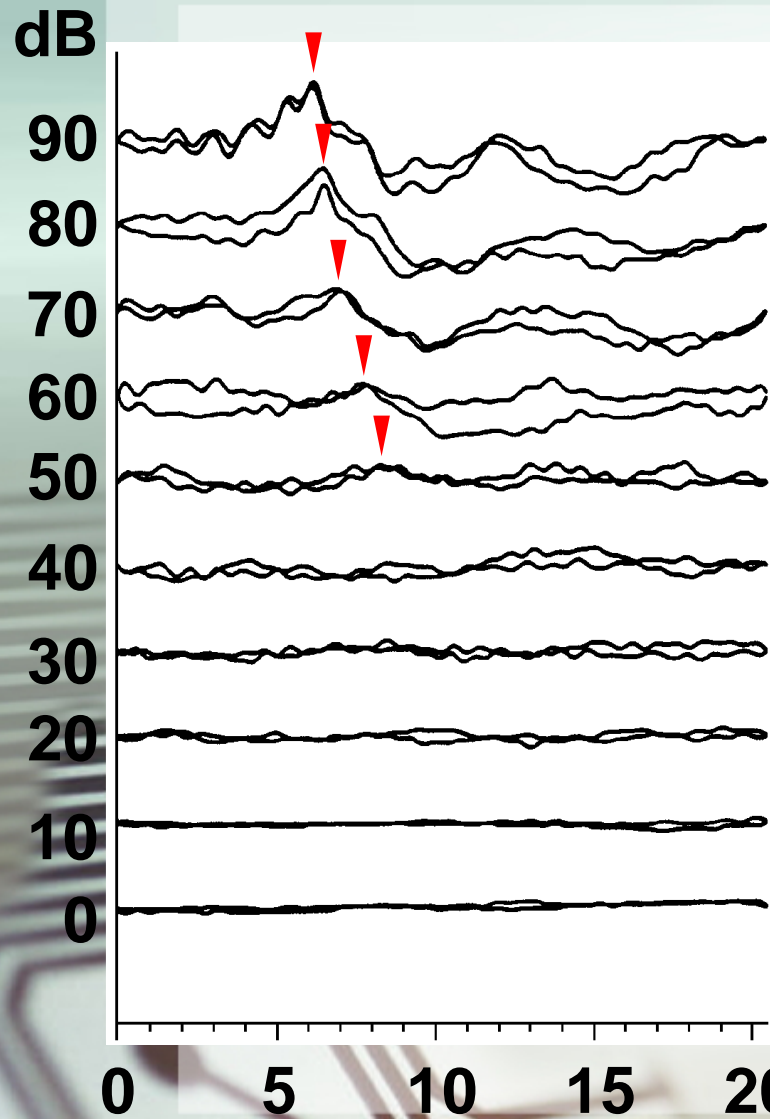
ABR Audiometry : 正常者 (青柳[1])



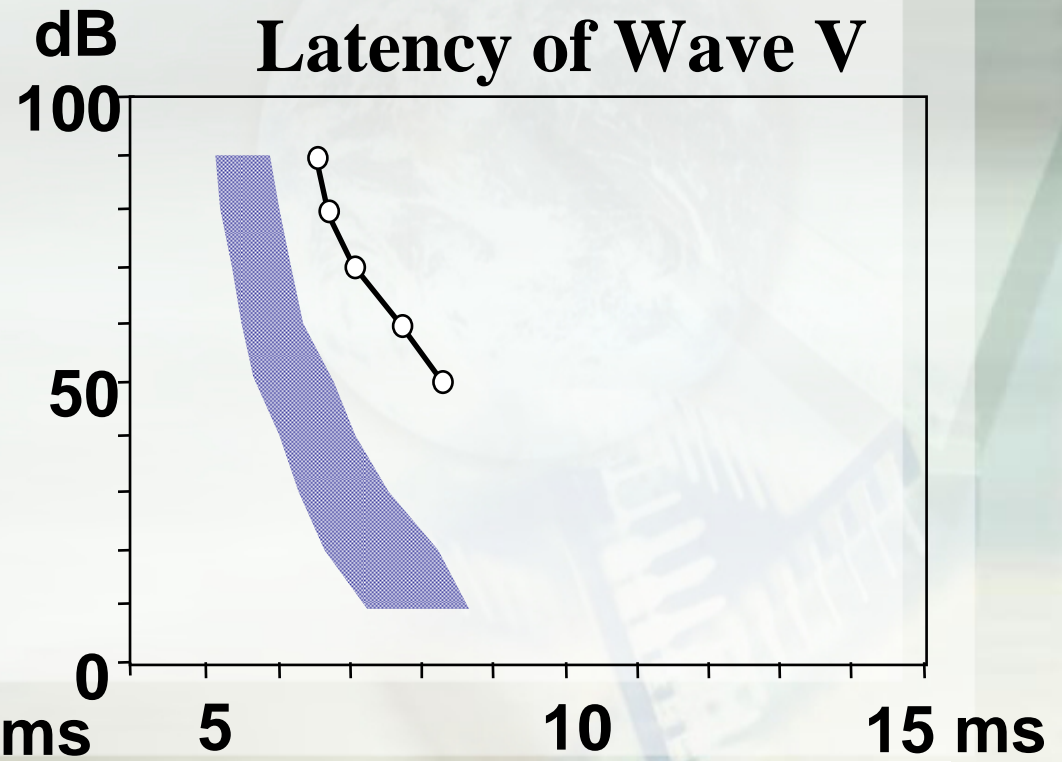
A.M., 3歳7ヶ月、女児
単純性言語発達遅滞
Click / ISI=75 msec



ABR Audiometry : 伝音難聴(青柳[1])



S.M., 33歳、男
慢性中耳炎
Click/ ISI=75 msec



ABR Audiometry : 感音難聴(青柳[1])

S.T., 42歳、男

内耳性難聴

Click / ISI= 75 msec

