

42チャンネル球形スピーカシステムによる 球面調和関数を用いた放射指向性合成

Sound directivity synthesis based on spherical harmonics
using 42 ch spherical loudspeaker system

○岡本 拓磨¹, 勝本 道哲²

1) 情報通信研究機構@小金井(4～6月)→けいはんな(7月～)

2) 勝本総合研究所

Introduction

■ 超臨場感次世代インタラクティブコミュニケーションの実現

■ ユニバーサルコミュニケーション研究所

✱ 超臨場感映像研究室 (4月～6月) ・ 多感覚・評価研究室 (7月～)



■ 3次元音空間インタラクティブコミュニケーション

■ あたかも**そこに自分**がいるかのような音空間通信 → 音場再現

✱ サラウンド指向音空間再現：臨場感重視

■ あたかも**ここにその人(物)**がいるかのような… → 物体の放射指向特性再現

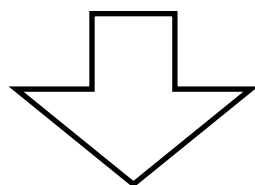
✱ オブジェクト指向型音空間再現：実在感重視

Motivation

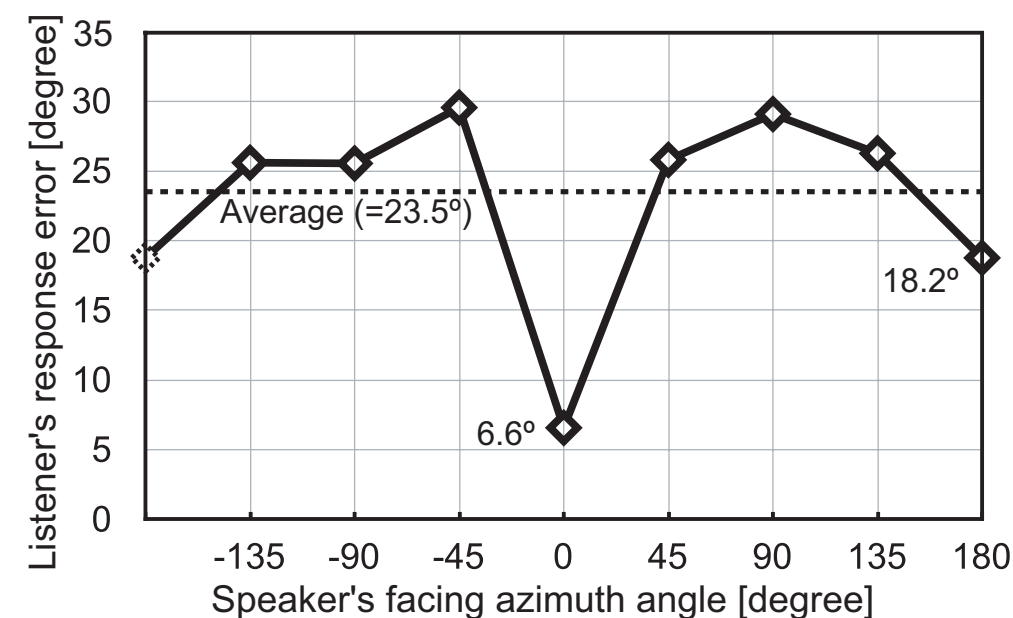
■ 音の放射指向特性の重要性

■ 人間は音だけで話者や楽器の向きがわかる

✱ 音声の場合, 特に正面方向の感度は極めて高い



次世代テレビ会議など超臨場感インタラクティブ
コミュニケーションには放射指向特性の伝送は必須



H. Kato *et al.* *Proc. ICA2010*

■ 音の放射指向特性伝送に向けて

■ 音の放射指向特性を精度よく抽出(推定)する技術

→ 岡本, 榎本, 西村 11/16-17 EA & EMM研@大分大 (to appear)

■ 音の放射指向特性を精度よく再現(提示)する技術

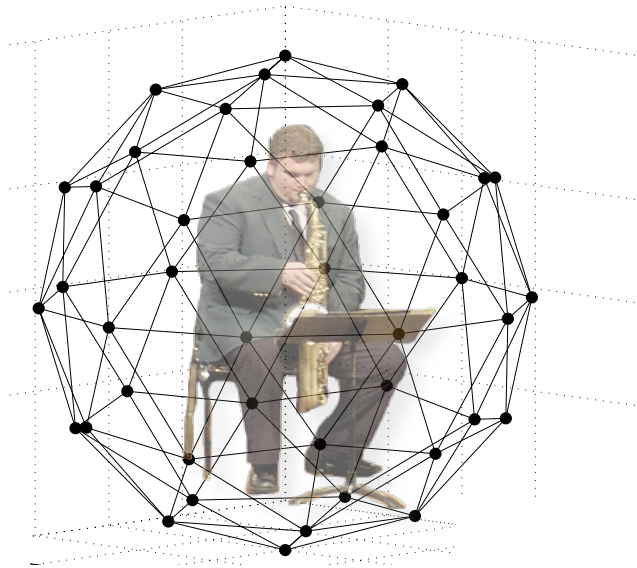
✱ 直線スピーカアレイに基づく方法: e. g. S. Koyama *et al.* 2012.

✱ 球形スピーカアレイに基づく方法: e. g. 吉元ら 2012. (午前中ポスター)

Spherical loudspeaker system

■ (26 or)42チャンネル球形スピーカシステムによる楽器音の再現

牧ら 2011.



逆フィルタリング



1. スピーカの延長上に配置した
マイクで楽器音を収録(半径：0.8 m)

2. 球形スピーカより収録音を再生

※収録チャンネルと再生チャンネルが1:1で対応

- スピーカ配置：多面体細分割法による42 ch(ほぼ)均一配置
- スピーカユニット：AURASOUND; NSW1-205-8A(1インチ)
- エンクロージャ：ABS樹脂 (3Dプリンタによる自作)
- 球半径：0.12 m
→ 平均スピーカ間隔：0.074 m (上限周波数：2.3 kHz)

Sound field description based on spherical harmonics

■ 球面調和関数展開による音空間情報の直交展開

■ 直交展開の例(テイラー展開)

- ✳ 無限回微分可能な任意の関数 $f(x)$ は任意の定数 a に対して以下が成立

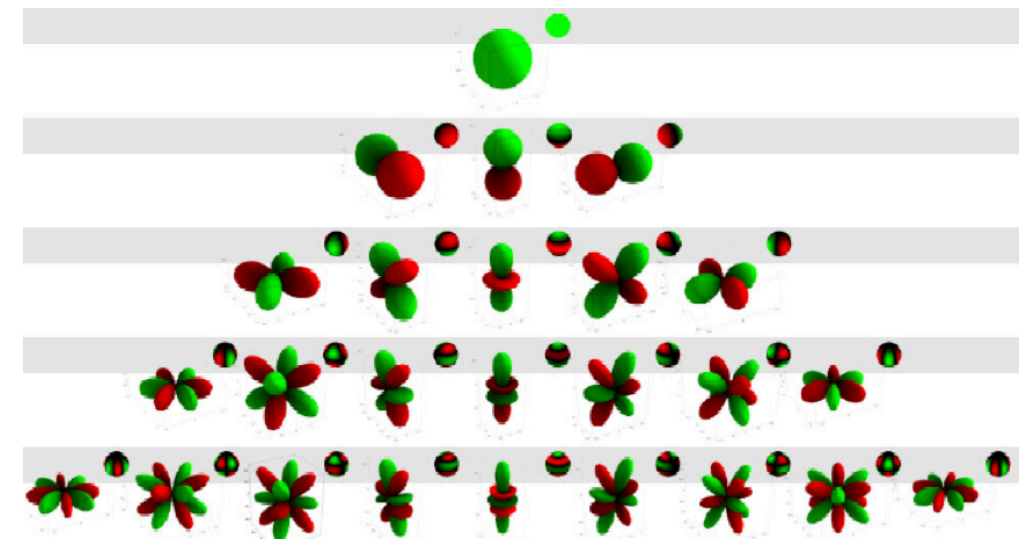
$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n = f(a) + \frac{f'(a)}{1!} (x-a) + \frac{f''(a)}{2!} (x-a)^2 + \cdots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n + \cdots$$

- ✳ それぞれの成分は互いに直交(orthogonal)
- ✳ n を増やすほど実際の関数に近づく

■ 球面調和関数展開による音空間情報の直交展開

$$p(kr, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{+\infty} i^n j_n(kr) \sum_{m=-n}^n B_n^m Y_n^m(\theta, \phi)$$

- ✳ それぞれの成分は互いに直交(orthogonal)
- ✳ 音情報を記録を方向 (θ, ϕ) ごとの球面調和関数 $Y_n^m(\theta, \phi) \equiv \sqrt{\frac{(2n+1)(n-m)!}{4\pi(n+m)!}} P_n^m(\cos\theta) e^{im\phi}$ と展開係数 B_n^m より直交展開
- ✳ 展開次数 n を増やすほど実際の音場に近づく



Directivity synthesis based on spherical harmonics

■ 球面調和関数を用いた放射指向特性の合成

■ 42 ch配置が(ほぼ)等密度な点に着目

- ※ マイクロホンでの収録信号： $\mathbf{X} = [x_1(k) \ x_2(k) \cdots x_M(k)]^T$
- ※ 球面調和関数によりエンコードされた信号： $\mathbf{B} = [B_0^0 \ B_1^{-1} \ B_1^0 \ B_1^1 \ B_2^{-2} \cdots B_N^N]^T$
- ※ マイクロホン配置から計算されるエンコード行列： $\mathbf{C}_m =$

$$\mathbf{B} = \mathbf{C}_m \mathbf{X}$$

$$\begin{pmatrix} Y_0^0(\theta_1, \phi_1) & \cdots & Y_0^0(\theta_M, \phi_M) \\ Y_1^{-1}(\theta_1, \phi_1) & \cdots & Y_1^{-1}(\theta_M, \phi_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_N^N(\theta_1, \phi_1) & \cdots & Y_N^N(\theta_M, \phi_M) \end{pmatrix}$$

- ※ スピーカ配置から計算されるデコード行列： $\mathbf{C}_s$
- ※ 逆フィルタ行列： $\mathbf{H}^+$
- ※ スピーカの駆動信号： $\mathbf{Y}$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}^+ \mathbf{C}_s^+ \mathbf{B}$$

- ※ 回転させる場合のエンコード行列： $\mathbf{C}'_s$
- ※ 回転させた場合んばスピーカの駆動信号： $\mathbf{Y}'$

$$\mathbf{Y}' = \mathbf{H}^+ \mathbf{C}_s^+ \mathbf{C}'_m \mathbf{X}$$

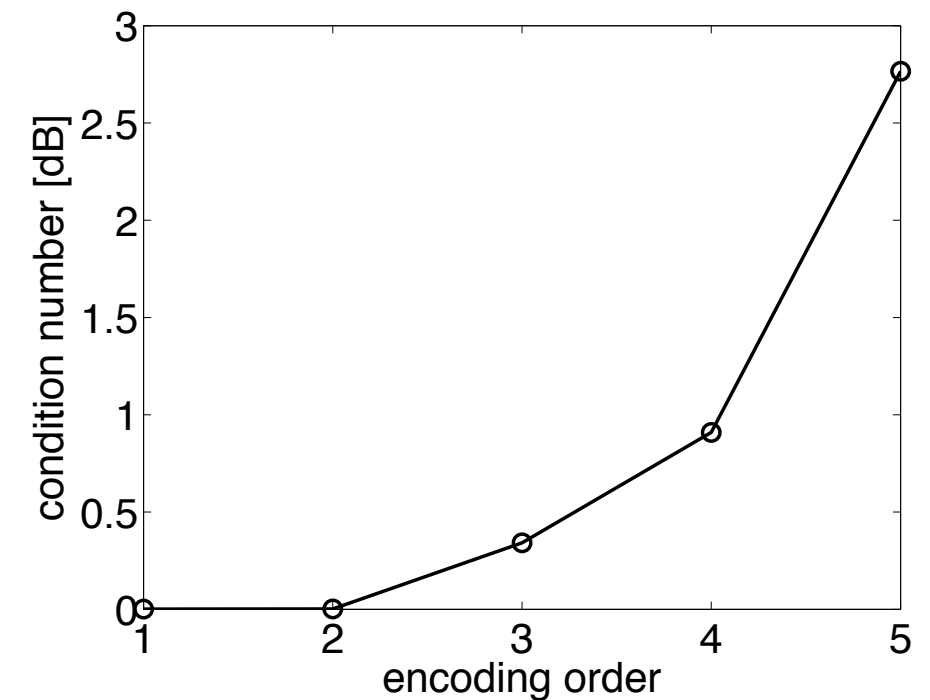
リアルタイムに変化させる→音源が回転する

Computer simulations

Condition number of decoding matrix

20 dB以下のため5次まで問題なくデコード可能

M. Noisternig *et al.* 2011.

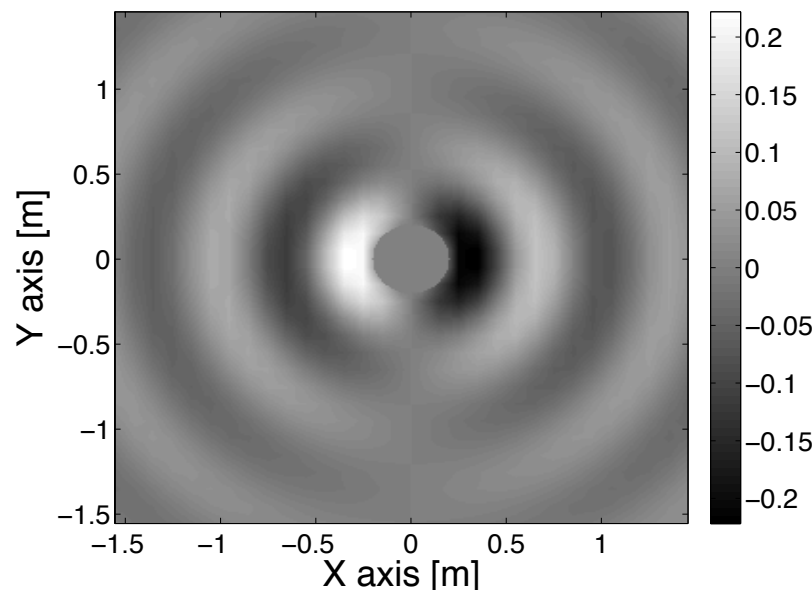


Dipole sound source simulation

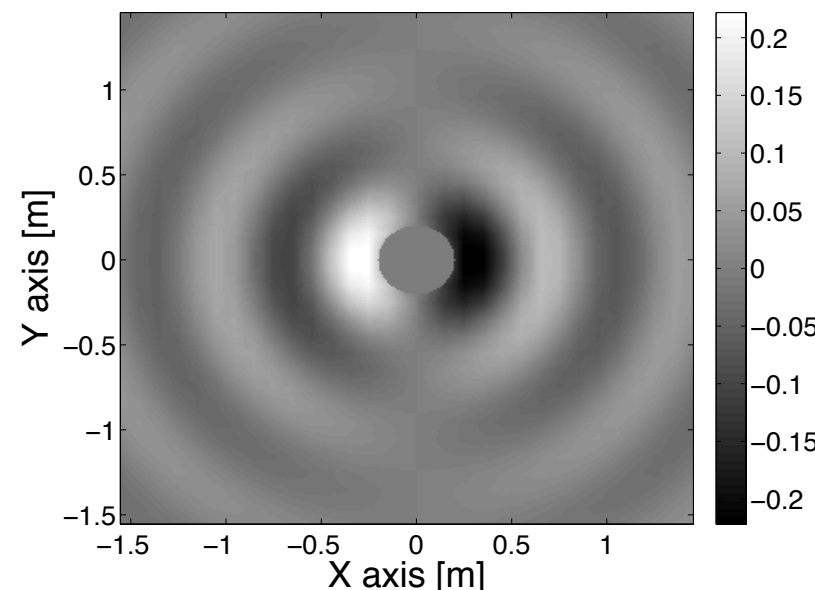
球形スピーカ半径：0.12 m

逆フィルタ半径：0.2 m

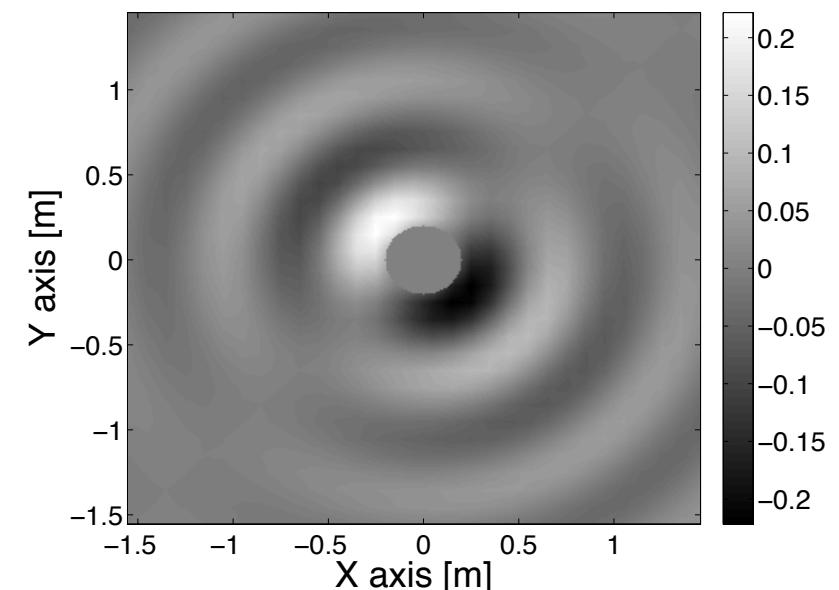
解析周波数：500 Hz



Original

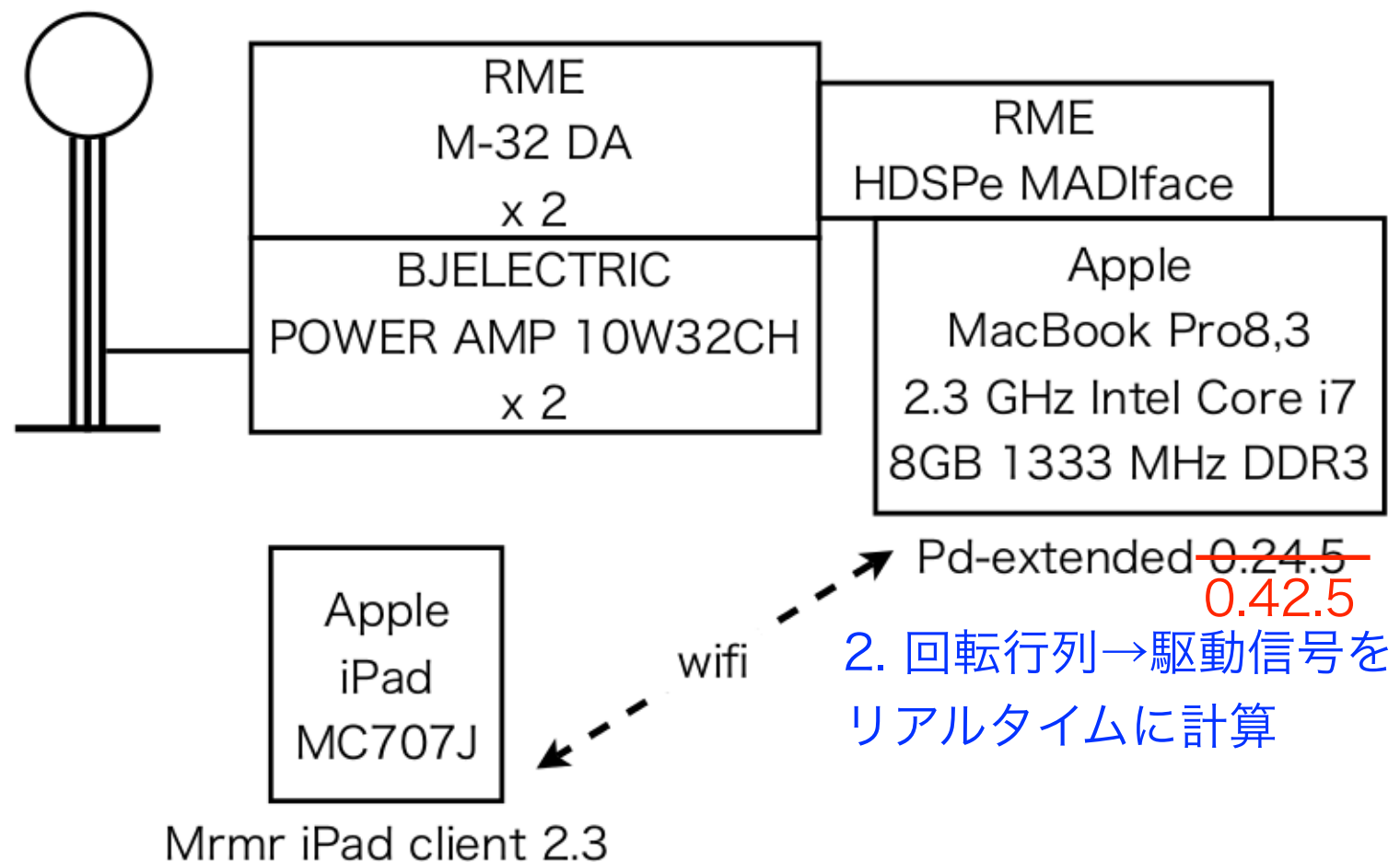
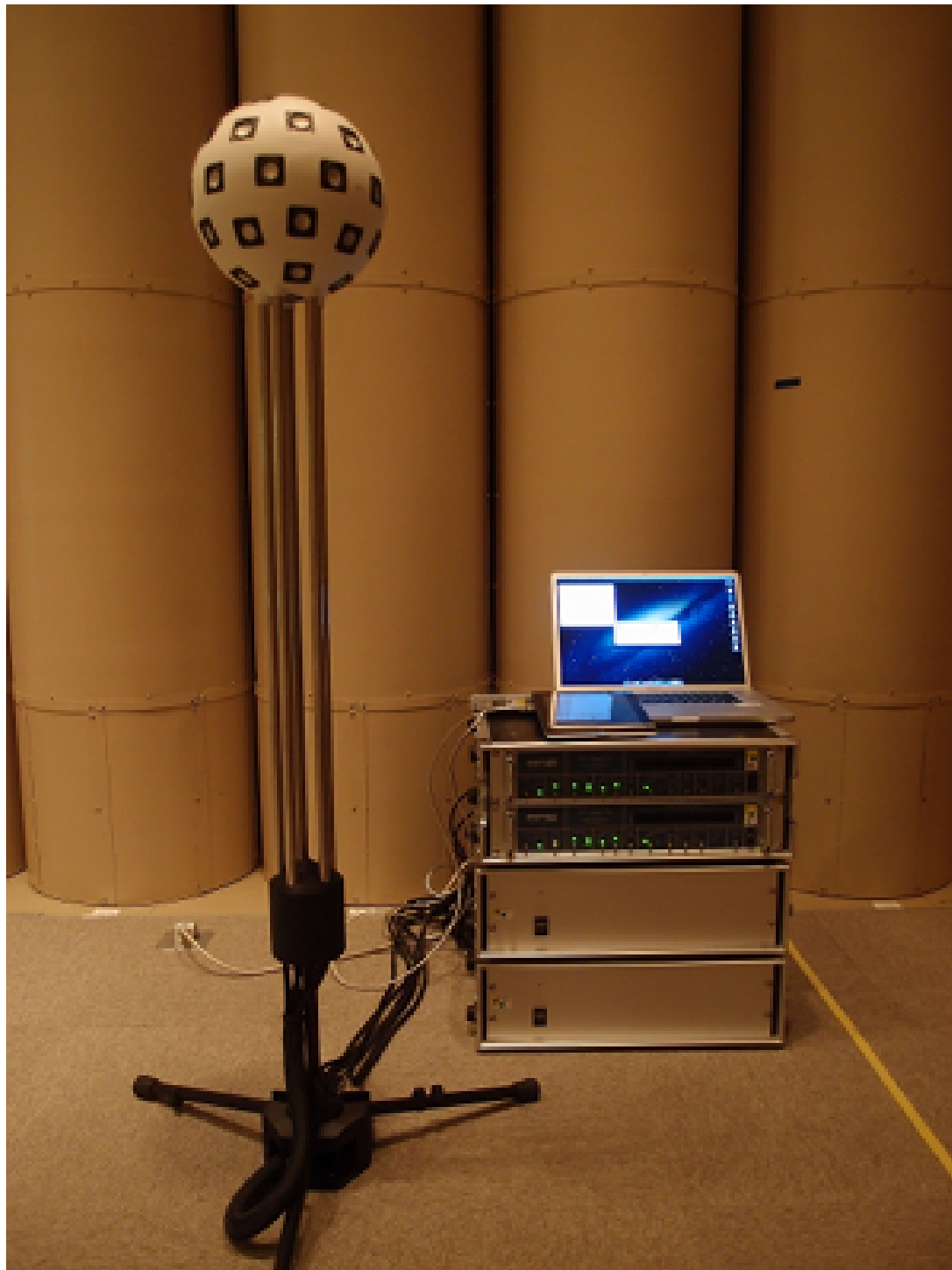


Reproduced

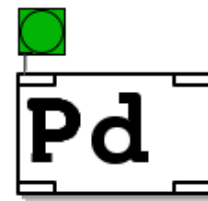


Rotated

Implementation



1. 水平角・仰角情報をリアルタイム送信



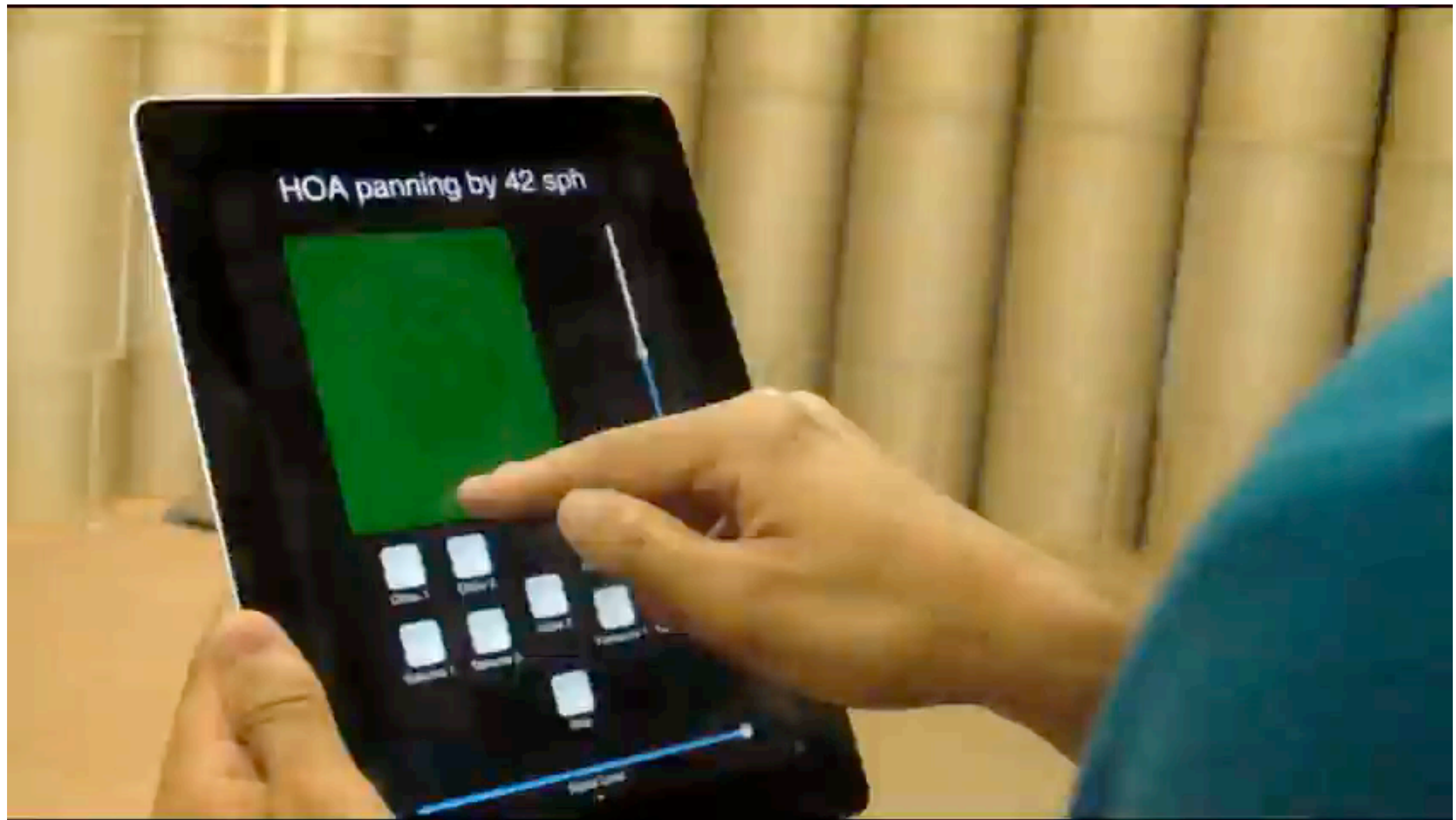
オーディオ制御ソフト：Pd-extended



OSC※コントローラ：Mrmr
いずれもフリーソフト

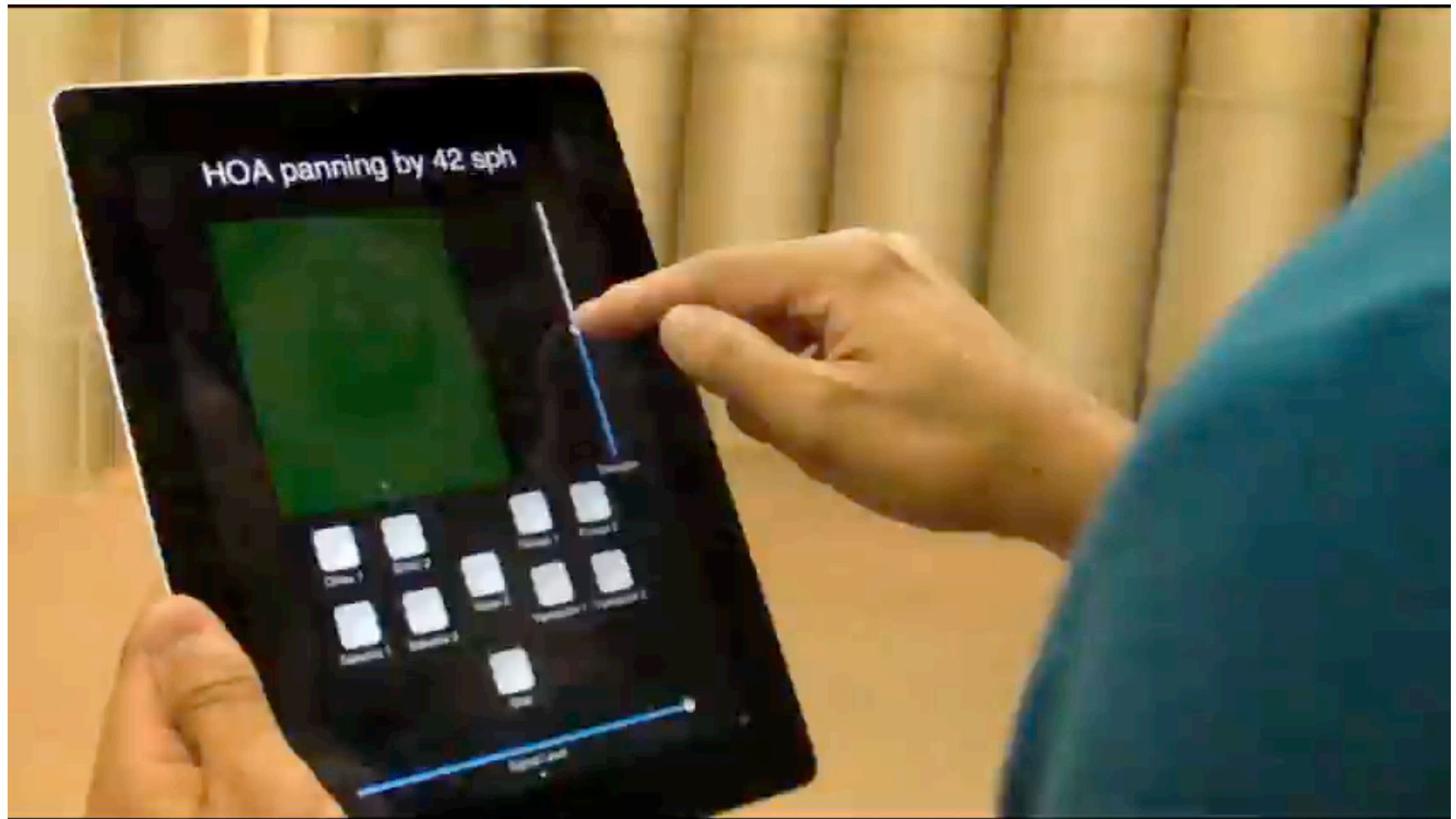
※Open Sound Control

Horizontal control



■ 水平角制御メータ

Elevation control



■ 仰角制御メータ

Concluding remarks

- 球面調和関数を用いた放射指向特性の合成とリアルタイムシステムの実装
- 今後の予定
 - コントローラの高精度化
 - ✳ google earthのような水平角・仰角の同時操作



Announcement



けいはんな情報通信フェア2012

Keihanna information and communication fair 2012

情報通信で拓く未来の科学と技術

歴史・文化を育むけいはんな学研都市にある情報通信関連機関や
大学の最先端の研究成果を講演や展示及び子供たち向けの
イベントを通じて紹介します。

未来を拓く君たちへ伝えたい！

入場無料



11/8・9・10

場所：けいはんなプラザ、ATR、SCSK、国立国会図書館関西館
ATRオープンハウス2012 同時開催(8～9日)

※8日は登録制(WEB登録可) ホームページ <http://khn-fair.nict.go.jp/>

立体音響を体感しよう ～音だけから顔の向きが分かる!～

出展:NICT ユニバーサルコミュニケーション研究所



タブレット端末を操作して、球形マルチスピーカからの音を制御することで、話をしている人の顔の向きを自由に変えたときの声の変化を再現できる立体音響技術を紹介します。

ほかにも多数の最先端研究成果の展示があります。