

空気注入式没入型ディスプレイにおける接触位置の検出手法

A Detection Method of Contact Position on the Air-Filled type Immersive Display

橋本渉, 松尾亜子

Wataru HASHIMOTO and Ako MATSUO

大阪工業大学 情報科学部

〒 573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1 whashimo@is.oit.ac.jp

Abstract : We propose an immersive display using air-filled tubes that allows the user to touch the screen directly. In general, the immersive display restricts us to use handheld device such as wand or joystick for the manipulation of virtual environment. We apply air-filled tubes to maintain the shape of screen and enable the user to feel elasticity from the surface of screen. 24 microphones are attached to the display in order to detect the user's contact position on the screen.

Key Words: *immersive projection technology, inflatable, touch screen*

1. はじめに

人間の周囲を映像で囲むようなディスプレイは没入型ディスプレイと呼ばれる。人間の周辺視野に映像を表示できるため、高い臨場感を生成できることが知られている。また、同時に表現できる情報量が多いのも特徴のひとつである。

ところで、没入型ディスプレイの映像に対して観察者がなんらかの操作を加える場合、ワンド (wand) やジョイスティックのような、小回りの利くインタフェースに頼るのが一般的である。このことは、ディスプレイ内部に大きなインタフェースを持ち込めないという制約、インタフェース装置が映像をさえぎってしまうという問題に起因している。このため、大型の映像が表示されているにもかかわらず、等身大のインタラクションについてはあまり考慮されていないのが実状である。そこで、観察者が表示コンテンツにじかに触れることのできる、スクリーンそのものを入力装置とするような没入型タッチディスプレイ環境を提案する。本稿では、没入型タッチディスプレイの設計概念と、試作を経て開発されたインフレーターによる没入型ディスプレイについて紹介する (図 1)。

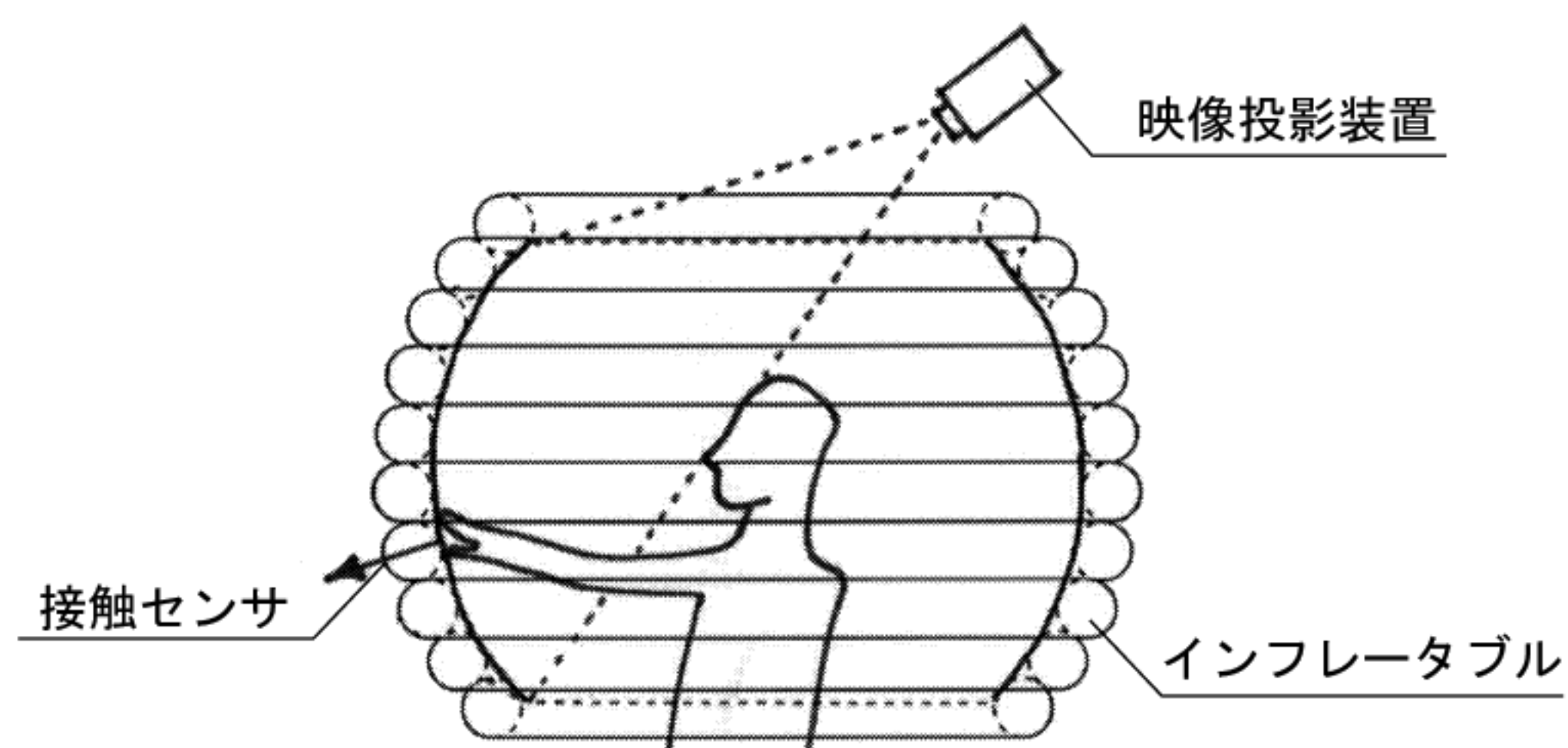


図 1: 空気注入式没入型ディスプレイ

2. 没入型タッチディスプレイの基本設計

表示装置自体がそのものが入力デバイスになっているものは、それほど珍しいものではない。最近では、大型平面のタッチディスプレイやプロジェクション型ディスプレイも出てきている。本研究では包囲型のタッチディスプレイを設計する際、以下の 3 点について検討し、設計方針とした。

(a) スクリーンの形状と大きさ

スクリーンに映し出された映像に触ろうとするとき、手を差し出せば自然に届くことが重要である。すなわちスクリーンが上肢の到達域にあれば、体全体を動かすことなく触ることが可能になる。成人男性の上肢長はおよそ 70cm あり、そのリーチゾーンは肩を中心とした球形となる。したがって、半径 70cm 程度のドーム型スクリーンであれば、手を伸ばして自然に触ることができる。スクリーン面が曲面になることは、人間の焦点調節系にとっても好ましく、継ぎ目のない映像を表示することができる。

(b) 影の問題

スクリーンの映像を触るときに生じる問題の一つは、影の問題である。影を発生させない単純な解決方法は、スクリーンの背面から映像を投影することである。しかし、没入型ディスプレイではスクリーンの形状を保持する必要があり、その保持構造物が映像をさえぎらないように投影を工夫する必要がある。さらに接触を検出するセンサをスクリーンに備えることが難しくなる。多少の影はやむを得ないとするなら、前面投影を用いて、影を目立たせないような配置が考えられる。例えば投影装置を観察者の視点付近に配置すればよい。手を伸ばしたときにスクリーン上に影が発生したとしても、視点に入る影は自分の手で隠れてしまうので、見える影を最小限にすることが可能である。

(c) 接触検出

接触の検出方法については、タッチパネルに代表されるように、表示面全体に検出機能が分布しているもの [1][2] が一般的である。しかし、同様の仕掛けを表示面積の大きな没入型ディスプレイに適用するのは容易なことではない。外部からカメラなどを利用して、人間の動作を非接触で検出することも考えられるが、接触の力加減を検出することは難しい。検出手段については模索中であるが、本報告では複数の衝撃センサやマイクロフォンをスクリーン面に均等に配置し、接触の検出をおこなうことにしている。

3. プロトタイプの開発

以上の基本設計の指針に基づいて、プロトタイプを設計した (図 2)。スクリーンの直径は 1500mm で、球の中心から見て仰角、俯角がそれぞれ 45 度となるような樽型である。映像の投影には液晶プロジェクタを利用し、映像をスクリーン上に拡散させるため凸面鏡を利用している。見かけ上の光源の位置が視点の上部となるように配置し、できるだけ観察者に影を感じさせないようにしている。凸面鏡による光学系の設計ならびに映像のひずみ補正については文献 [3] によった。

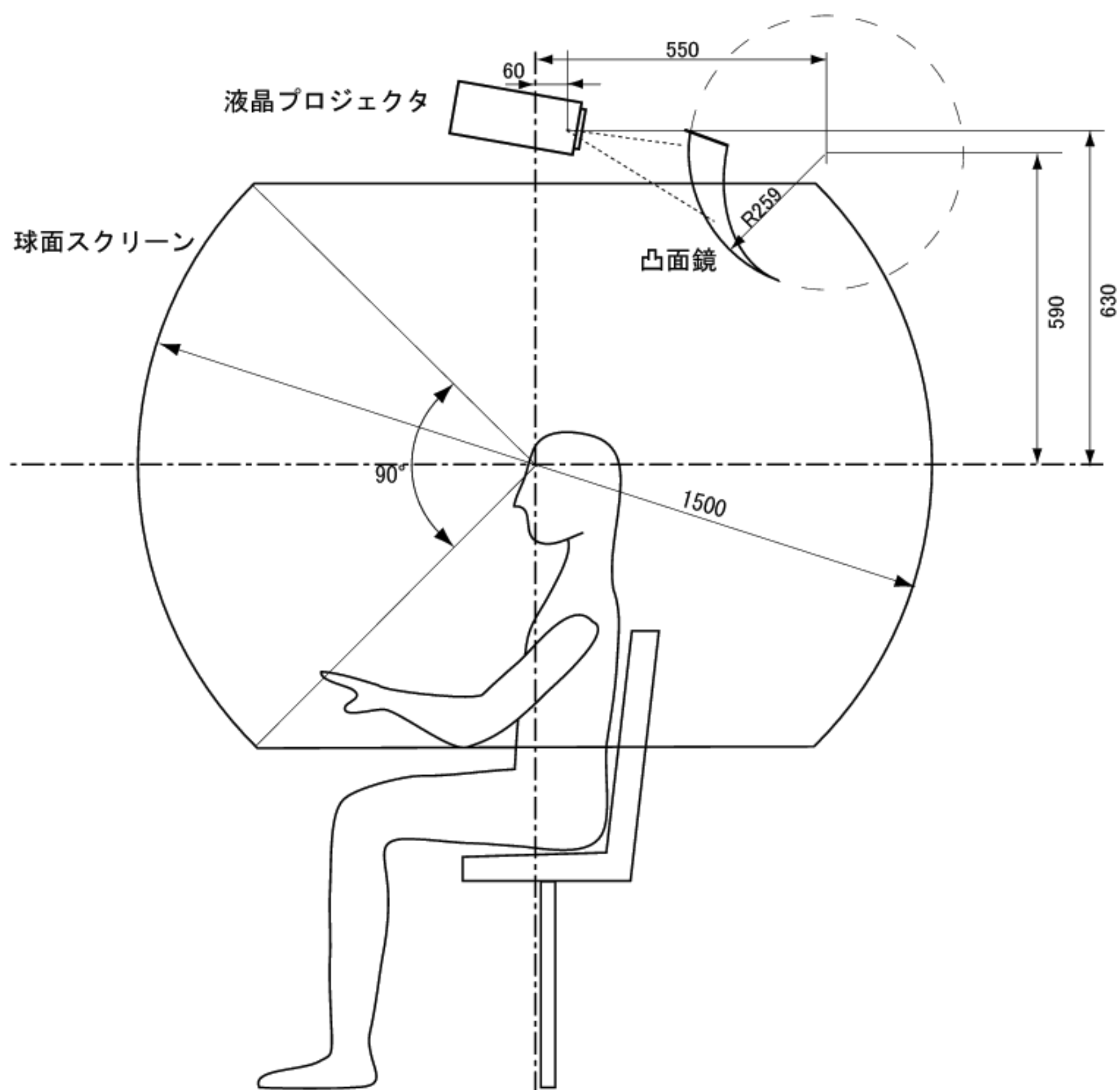


図 2: プロトタイプ側面図

プロトタイプの外観と内部の様子を図 3 に示す。スクリーンには、垂れ幕やテントなどで用いられるターポリン (KANBO PRAS:タフザー LN1200) を用いた。ターポリンは伸縮性がなく、軽くて丈夫なビニール系の素材である。偏光立体視が可能なように銀色の生地を用いた。生地は球形に縫製し、形を保持するためカーボン製のフレームを緯線経線上に配している。

図 3 の内部の様子から見ても明らかなように、このプロトタイプではスクリーン上に帯状のたわみが生じてしまい、鮮明な映像を得ることが難しいことがわかった。特に緯線方向のしわは、プロジェクタ光源の位置関係によって、影が

できてしまうほど深刻である。さらにスクリーン面を何度も触っていると、たわみが増加するという問題を引き起こした。スクリーン面には伸縮性がないため、押しでも変形量が少ない。観察者が弾力を期待して無理に押したり叩いたりすると、しわが増えてくることがわかった。このため、スクリーンに弾力性を持たせつつ、形状を保持するための工夫を考案する必要がでてきた。

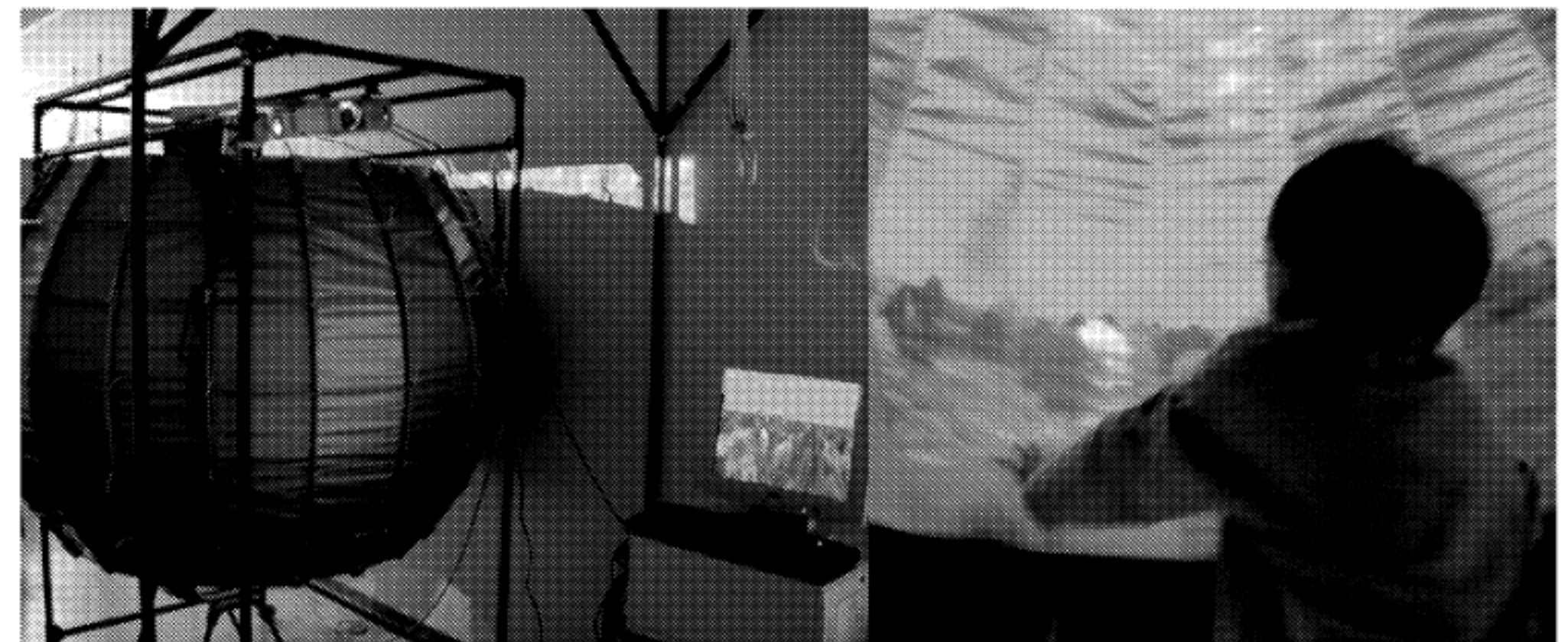


図 3: プロトタイプの外観 (左) と内部の様子 (右)

4. 空気注入式没入ディスプレイ

4.1 スクリーン部

形状を保持しつつ弾力性を持たせる一つの方法は、空気圧を利用することである。空気によって造形する構造物はインフレータブルと呼ばれ、小型ボートや子供用の遊具に見られるように広く普及している。空気は等方的に力を分散させるため、球面や曲面を形づくるのに適している。たとえば、減圧によってドーム型スクリーンを生み出す仕組みの報告例 [4] があるなど、球面スクリーンの形状保持には最適である。そこで、市販されている直径約 1300mm (内径 1100mm) のインフレータブル・プールを利用し、円柱型のスクリーン保持部分を試作した。

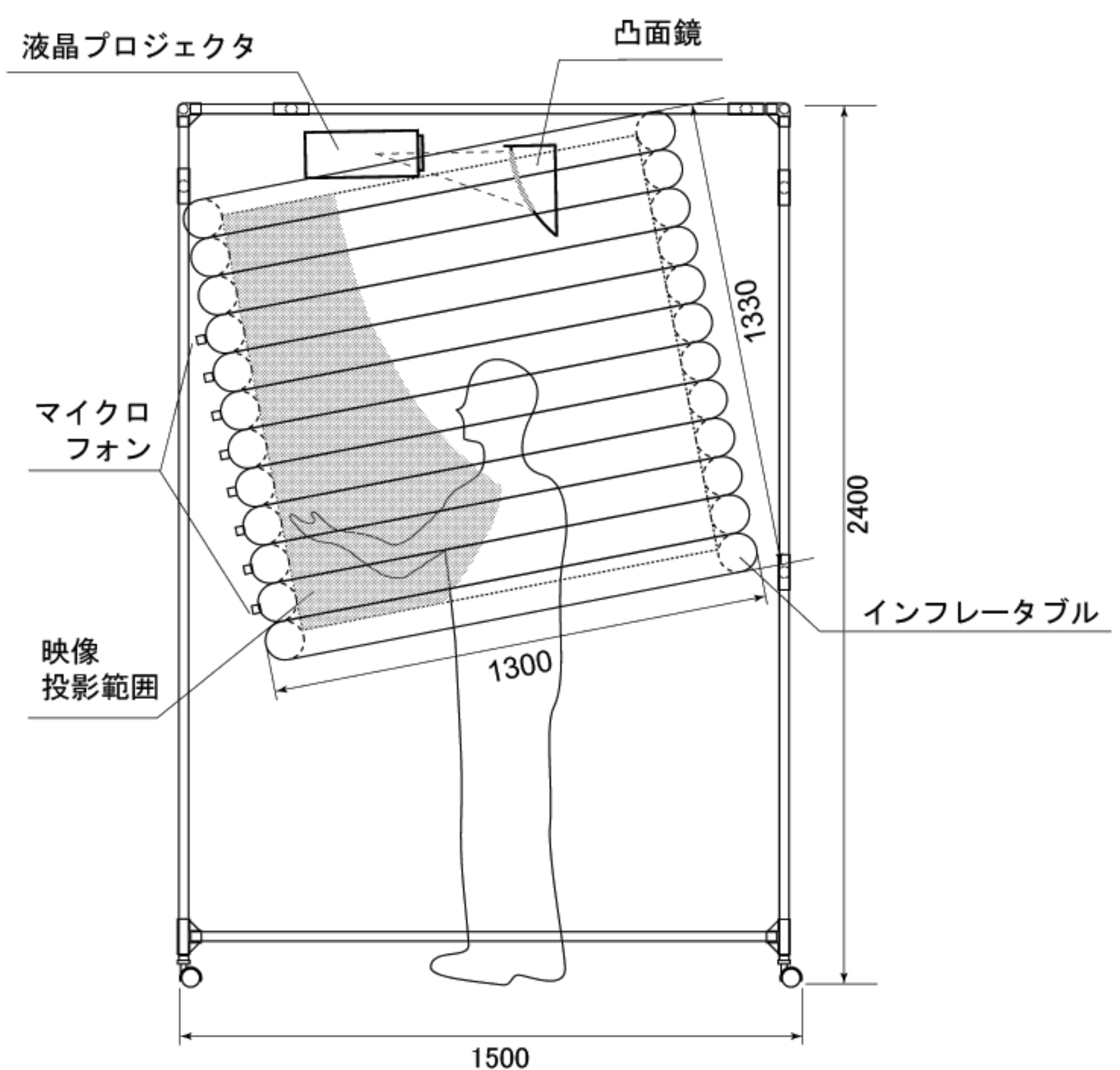


図 4: 空気注入式没入型ディスプレイの基本設計

図 4 はスクリーン保持部分の円柱の側面図である。本来なら球形を構成したかったが、球を形づくることのできる都合のよいインフレータブルが入手できなかったため、円柱型としている。インフレータブルにそのまま映像を投影

すると、表面の凹凸によって影が生じてしまうため、円柱の内側に伸縮性があり、洗濯可能なレオタード生地（三徳：透け防止ツウエイ、白）を縫い合わせている。映像の投影系はプロトタイプと同様に凸面鏡を用いて拡散投影しており、投影範囲は図4の灰色部分である。

設計に基づいて試作したものが図5である。設置容積はW 1.5[m]×D 1.5[m]×H 2.4[m]で、通常の部屋に収まるようにしている。スクリーンへの入り易さと上肢のリーチゾーンを考慮して、スクリーン全体を前に傾けている。

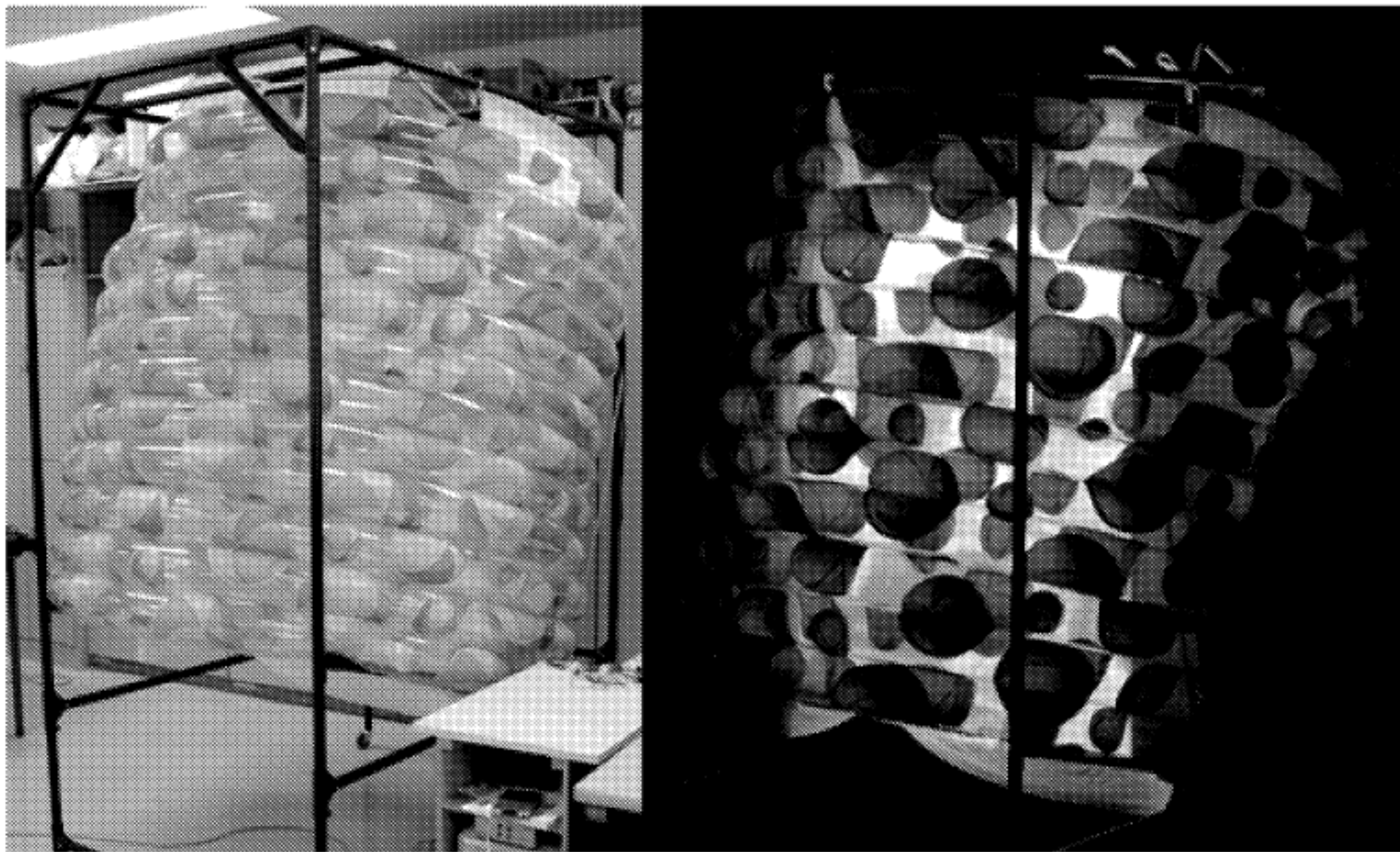


図5: ディスプレイ外観(左)と投影状態(右)

4.2 接触検出部

スクリーンへの接触を検出するための方法として、本研究では円柱型インフレーターの外側にマイクロフォンを取り付けている。プロトタイプでは、圧電セラミックス型衝撃センサの利用を検討していた。同じものをインフレーターに取り付けたとき、空気がクッションの役割を果たし、衝撃が減衰してしまうことから、ここでは24個のマイクロフォンにより、叩いたときの音の大小を衝撃の強度として検出するようにしている。

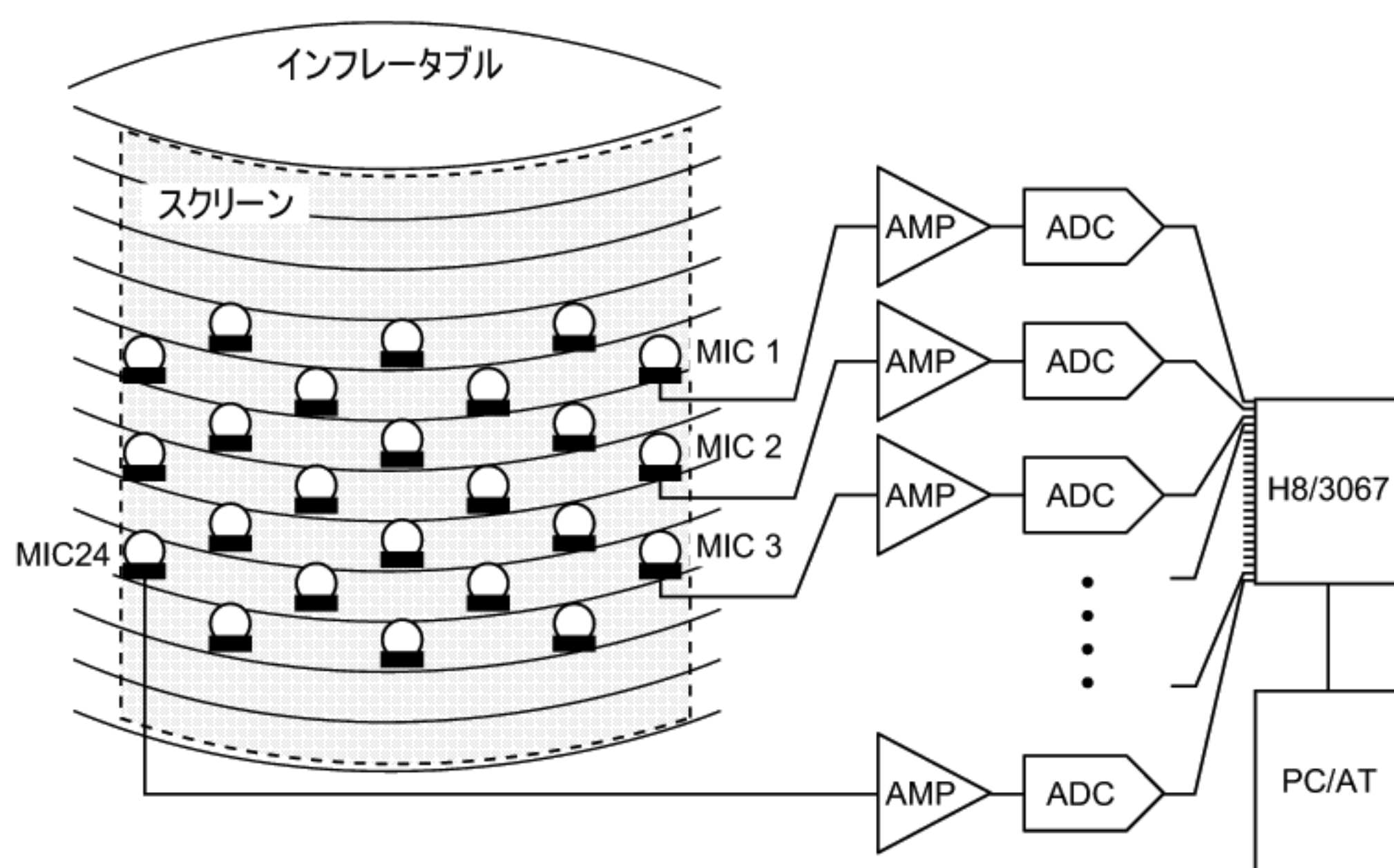


図6: 接触検出のためのマイクロフォンアレイ

マイクロフォンアレイのブロック図を図6に示す。マイクロフォンはスクリーンの外側に位置するインフレーターに、等間隔になるように配置している。マイクロフォン同士が干渉しないよう、隣の段では間隔を半分ずらしている。マイクロフォンで検出した音の振動情報は、増幅器を通して量子化される。これらの情報はマイコン回路を経由して描画用PCに送られる。PCにおけるサンプリングレートは約20[Hz]である。接触位置の検出については、音速に対

してサンプリング速度が十分でないことから、最も強く反応した箇所を探し、その点を音の強度に応じて補間することで算出している。

4.3 接触検出の誤差測定

マイクロフォンによる接触検出について、その誤差を求めするための実験をおこなった。実験は、マイクロフォンの取り付け位置付近でスクリーンを音を出すように叩き、そのときの接触検出を調べるというものである。接触の仕方が一様になるように、ゴムひもの先におもりをつけ、一定距離だけ引っ張り、対象にめがけておもりを放す。図7はその実験の様子を表している。スクリーン上の白丸印がマイクロフォンの位置を表しており、その位置に対して一定の衝撃を与える。24箇所のマイクロフォンの取り付け位置に対して、10回ずつ音が出るように接触させ、そのときの検出位置をまとめた。



図7: 接触検出の誤差測定実験の様子

図8は接触検出位置の誤差をグラフ化したものである。横軸がスクリーンに向かって左右方向、縦軸が上下方向で、菱形印がマイクロフォンの取り付け位置である。マイクロフォンの取り付け位置に接触したとき、どこで接触検出が起こったかを示すのが、菱形から伸びている十字印である。十字は10試行の平均値で、周囲を描画している楕円は検出結果のばらつきを表す標準偏差である。なお、全試行を通じて、スクリーンを叩いても無反応ということはなく、叩いたら必ずどこかで接触を検出できていた。

グラフより、接触位置と接触検出位置が40cm近くずれているところもあるが、叩いた位置の検出がおおまかにできていることがわかった。10回の試行のうち、叩いた位置の周囲10cmで接触を検出できていたのは全体を通して2回から6回の確率であり、他は見当違いの位置を検出していた。

4.4 検討

マイクロフォンによる検出は、スクリーン面の大きさから考えると広範囲的には取得できているものの、スクリーン上の映像を精密に操作するには十分とはいえない。本方式で精度を上げるためには、マイクロフォンの個数を増やす、ソフトウェアによって補償する、検出アルゴリズムの強化、が必要である。

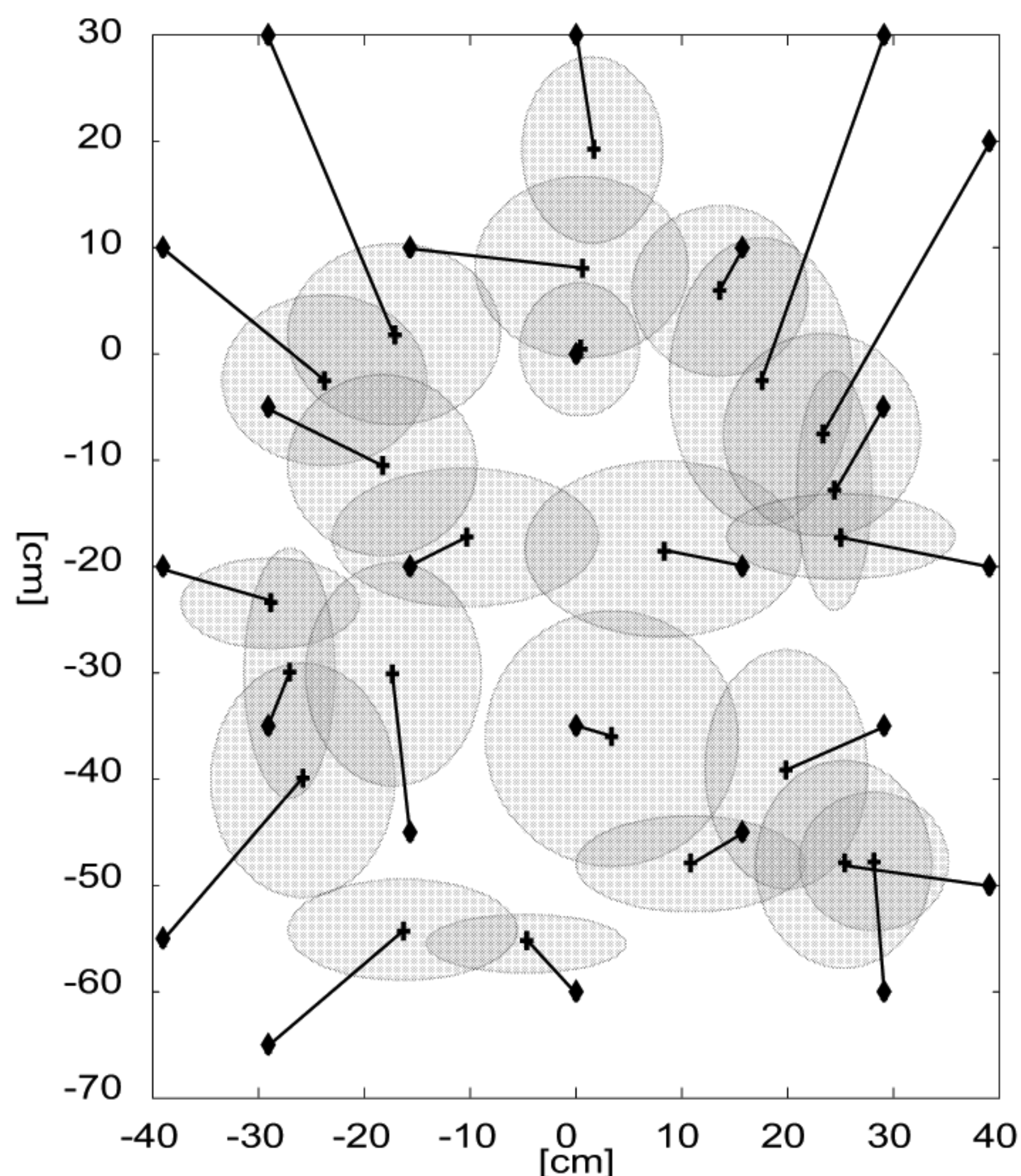


図 8: 接触検出の誤差測定結果

マイクロフォンの個数を増やすことは安直であるが最も効果が高い。しかし、ケーブルの取り回し等を考えると限界がある。マイクロフォンのサンプリングレートを高め、音の位相差を検出することができれば、強度と時間差によって精度が高めることができると考えられる。

ソフトウェアによる補償とは、マイクロフォンの個体差や設置状態のばらつき、回路の特性などをキャリブレーションする方法である。現在、検出のばらつきがどの要因によるものかを調べているが、最終的にはスクリーンを数箇所叩いて検出状態のキャリブレーションをとり、敏感に反応するマイクロフォンの強度を抑制するなど、ソフトウェアで強度補償していくことを検討している。

検出アルゴリズムの強化であるが、現時点ではマイクロフォンの設置範囲の内側でしか検出されていない。このことは、検出のアルゴリズムでマイクロフォンの反応強度の中点をとっていることに起因している。音の強度の分布状況、減衰状況を把握し、より精密な検出アルゴリズムが必要である。

5. おわりに

触れることを目指した没入型ディスプレイとして、インフレーターブルを利用したスクリーンを試作した。空気圧による利点は、スクリーンにおいて弾力を呈示できること、曲面を作るのに都合の良いことである。また、多少乱暴に扱っても壊れにくく、空気がエアバッグの役割を果たすため、転倒などの事態においてもある程度の安全性を確保することができる。さらに、使用しないときは空気を抜いてコンパクトに収納できることも利点である。逆にスクリーンの形状を空気によって維持しているため、圧力や温度を一定に保たなければ形状を再現できないという問題はある。再現

性が損なわれれば、映像の歪みが顕著に現れてしまう。

マイクロフォンによる検出方法では、音を立てずにスクリーンに触れると検出できないという制約もある。今回は力加減を検出するために衝撃センサやマイクロフォンを利用したが、映像の影や人間の動作を外部カメラで取得したり、インフレーターブルの変形を触覚カメラ [5] の原理を応用して取得するなど、検出方法そのものに検討の余地が残されている。

現時点ではおおまかな位置の検出しか出来ないが、それでも利用に耐えるコンテンツについて模索していきたい。例えばアミューズメント分野であれば、もぐら叩きのように、接触検出精度がそれほど高くなくても遊びとして成立するようなコンテンツに応用可能である。試作や展示を通して気づいたことだが、接触検出精度が低いこともあり、意外と過激な接触を試みる体験者が多い。スクリーンの中で運動を促すことも十分可能である。インフレーターブルの可搬性、収納性や安全性を生かして、等身大の映像を組み合わせた上肢運動の賦活やリハビリの補助装置として応用が考えられる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金(若手B-No.17700128)の補助を受けて実施された。また、本装置の開発に携わった卒業生の小北和正氏に感謝する。

参考文献

- [1] 暦本純一: SmartSkin: 複数の手の位置と形状を認識するセンサーとその応用, Proc. Interaction2002, 2002
- [2] Dietz, P., Leigh, D.: DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology, ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 219-226, 2001
- [3] 橋本渉, 岩田洋夫: 凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ: Ensphered Vision, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.479-486, 1999
- [4] 柴野伸之, 柏木正徳, 澤田一哉, 竹村治雄: 小型半球面スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp.393-396, 2003
- [5] 神山和人, 梶本裕之, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: 触覚カメラー弾性を持った光学式3次元触覚センサの作成ー, IEEJ Trans. SM, Vol.123, No.1, pp.16-22, 2003
- [6] 橋本渉: 空気注入式没入型ディスプレイ-Inflatable Displayの開発, インタラクション2006論文集, Vol.2006, No.4, pp.87-88, 2006