

施設内情報支援のための再帰光反射変調素子による 空間光通信システム

伊藤日出男^{*†}, 中村嘉志^{*}, 西村拓一^{*}, 山本吉伸^{*}, 中島秀之^{*†}

hideo.itoh@aist.go.jp

要旨 情報環境が屋内のような近距離閉空間でユーザに位置に基づいた適切な情報サービスを提供しつづけるには、ユーザの位置や方角の高精度測位、ユーザの追尾そしてワイヤレスな双方向通信が要求される。このような情報環境を実現するため、我々は携帯情報端末であるマイボタンと、高精度測位通信ができる基地局としての *i-lidar* を研究開発中である。マイボタンでは低消費電力での通信を実現するために、液晶光変調器を用いた反射率変調光通信を利用している。本論文では、低消費電力通信のための液晶光変調器としてのポリマネットワーク液晶と室内レーザレーダ通信システムの特性、そして、この測位通信システムを用いた美術館での来館者支援について述べる。

キーワード: サイバーアシスト、位置に基づく通信、空間光通信、反射率変調、レーザレーダ、再帰光反射

Free space optical communication system using a corner-reflecting and reflectivity modulating optical device for indoor information

Hideo ITOH^{*†}, Yoshiyuki NAKAMURA^{*}, Takuichi NISHIMURA^{*}, Yoshinobu YAMAMOTO^{*},
and Hideyuki NAKASHIMA^{*†}

hideo.itoh@aist.go.jp

Abstract: Precise location, tracing, and wireless communication between a user and the environment are required to establish a continuous and adequate human supporting service at indoor-situations. We have been developing the information environment with a handy information terminal, *My Button*, and a short-range location-based communication base station, *i-lidar*. The *My Button* has a reflectivity-modulating free space optical communication module for lower power consuming communication and keeping security and privacy of the user. In this paper, we introduce our implementation of the communication module using liquid crystal light modulators and an application of a guest navigating system at a museum.

Keywords: cyber assist, location-based communication, free space optical communication, reflectivity modulation, laser radar, corner reflection

^{*} 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター, 科学技術事業団 CREST
〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-1-6
Cyber Assist Research Center, AIST and CREST, JST (Japan Science and Technology Corporation)
2-41-6, Aomi, Koto-ku, Tokyo 135-0064 JAPAN

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒923-1292 石川県能美群辰口町旭台 1-1

School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

1-1 Asahidai, Tatsunokuchi, Ishikawa, 923-1292, JAPAN

1. はじめに

施設内のような近距離閉空間における位置に基づいた情報支援サービスでは、情報携帯端末の位置測定精度が屋外でのサービスに比較して高いものを要求され、また端末の寸法、消費電力あるいは放射電磁界強度にも制限がある場合が多い。我々はこのような状況下での人間の行動の支援を実現するシステムとして、室内レーザレーダ測位通信システム”i-lidar (アイライダ) システム[1]”と携帯情報端末”マイボタン[2]”を提案し、その研究開発を進めてきた。i-lidar 装置は室内のような近距離の閉空間において、携帯情報端末の位置を測位・追尾するとともに、人体に安全な光波長と出力の空間光通信をマイボタンとの間で実施して情報サービスを提供する。携帯情報端末へのデータ送信速度は超高速の空間光通信である一方、携帯情報端末からのデータ送信速度は送信に伴う消費電力の低減を実現するために、液晶光変調素子を利用した再帰光反射通信を行う。従来の再帰光通信に利用していた液晶光変調器はポリマ分散液晶を原料とするもので、動作電流は微小であるものの、定格動作電圧が AC24V と大きく、このため、プロセッサや I/O ポートで直接駆動できるような、より低電圧で動作する素子の開発が求められていた。

そこで本報告では、マイボタンの空間光変調モジュールのための動作電圧を低減した液晶光変調素子と、マイボタンの測位とデータ通信を行う測位通信システムについて述べる。また、この測位通信システムを用いた美術館での情報サービスについて述べる。

2. 液晶光変調素子

情報端末であるマイボタンから基地局である i-lidar にデータをアップリンクする場合には、マイボタンに LED や半導体レーザを装備して変調信号光を自ら放射すれば、高速なデータ送信が可能になる[3]が、この方式ではマイボタンの消費電力が増大してしまうという問題がある。特に常時ネットワークに接続してデータの送受信を行う場合には通信に数 10mW 以上の電力を消費し続けることになりその消費電力は無視できない。

この問題に対し携帯情報端末のデータ送信に伴う消費電力を低減するために、反射率変調空間光通信技術を用いる方式がある。この方式では、信号送信素子と送信出力増幅回路の消費電力の代わりに、反射率変調素子とその駆動回路の消費電力でデータ送信が実現できるためである。反射率変調素子としては、液晶光変調素子が利用できる。液晶光変調素子として我々は、PDA などの液晶ディスプレイも利用できる[4,5]を、さらに動作電圧を低減するために、ポリマネットワーク液晶を材料とする光変調素子を開発した。

試作したポリマネットワーク液晶の動作原理を図 1 に示す。素子の電圧を印加しない場合には液晶分子はランダムな方向を向いているために、曇りガラスのように入射光が散乱されて不透明状態になる (OFF 状態)。一方、素子に電圧を印加すると、液晶分子の方向が揃うために、入射光が散乱されず、透明状態になる (ON 状態)。

試作した液晶光変調素子の液晶層の厚さをパラメータとした印加電圧に対する光透過量を図 2 に示す。液晶層厚が少ないほど低電圧から透明化し、液晶層厚 $6\mu\text{m}$ の素子では約 3V で透明化することがわかる。図 3 に試作した液晶光変調素子の変調周波数特性を示す。-3dB 周波数帯域と比較すると、層厚 $6\mu\text{m}$ の素子が最も動作速度が遅いものの、どの層厚の素子も約 20Hz であった。

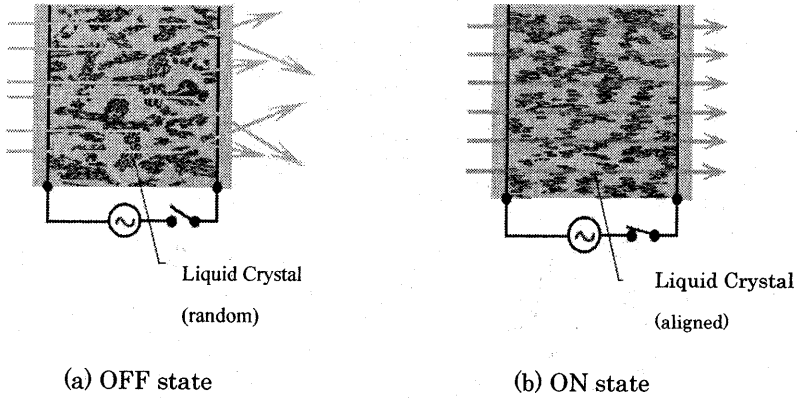


図1 ポリマネットワーク液晶光変調素子の動作原理

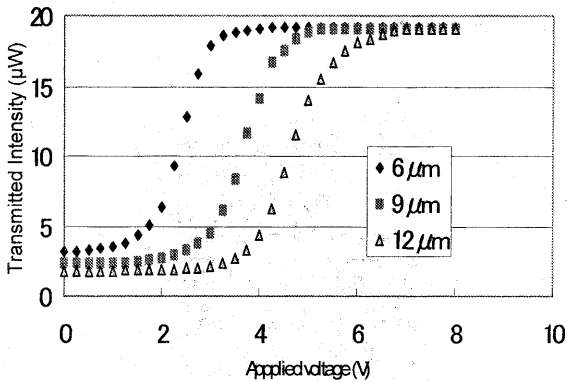


図2 ポリマネットワーク液晶の印加電圧・透過光強度特性

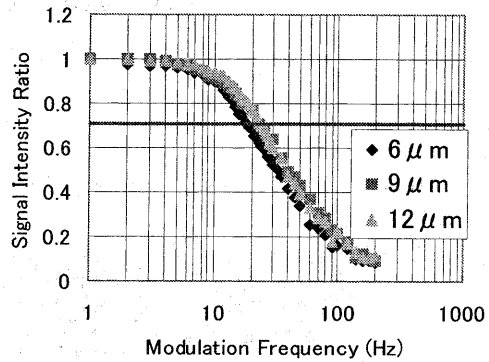


図3 ポリマネットワーク液晶の変調周波数に対する信号強度比特性

3. 室内レーザレーダ通信システム

3.1 高速化 i-lidar の設計

室内レーザレーダ測位通信システムを概念図を図4に示す。システムは、情報支援を受ける個人が持つ情報端末であるマイボタンと、マイボタンの位置を精密に測定しマイボタンとの通信を行う基地局である i-lidar とそのコントローラ、情報提供のためのデータベースや認識装置から構成される。i-lidar は室内の天井など見通しが効く場所に複数設置され、室内にある携帯情報端末“マイボタン”の位置を計測・追尾すると共に変調光で空間光通信を行う。人体がいる室内でレーザ光などを放射するため、計測・追尾・通信には人体に対して安全な波長と出力の光を使用する必要がある。

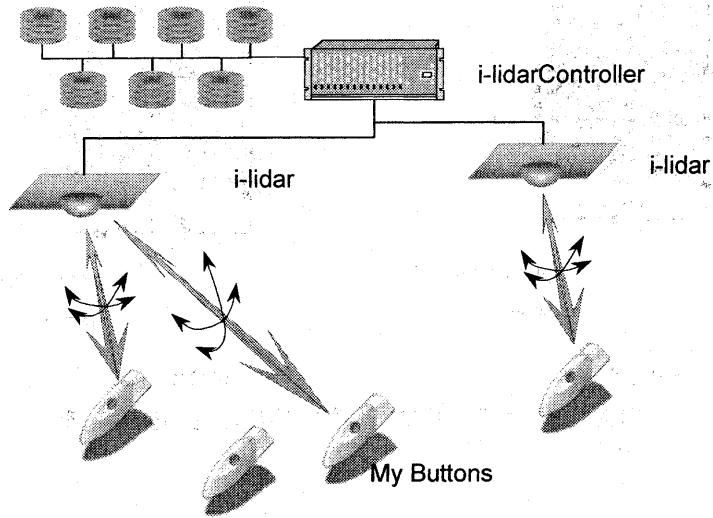
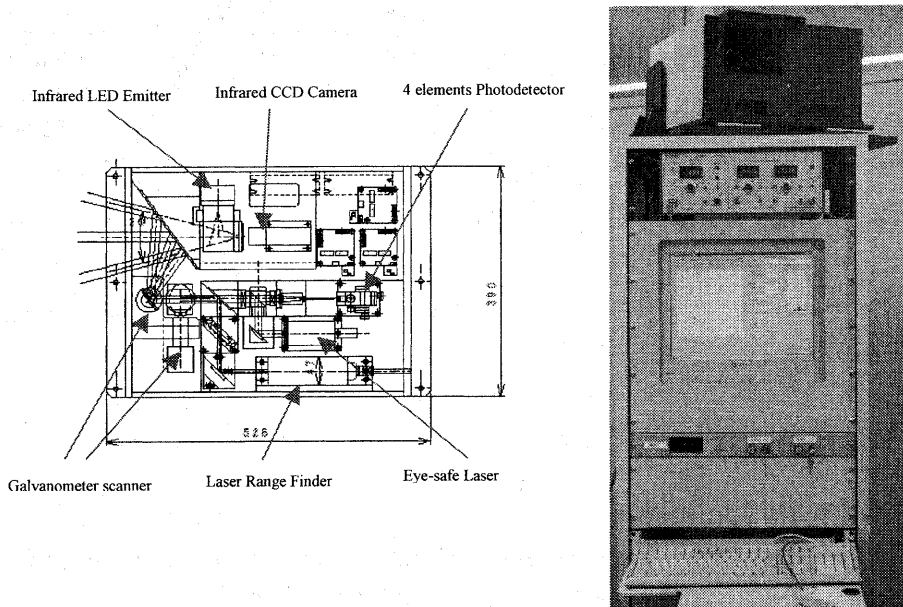


図4 i-lidar 測位通信システム概念図



(a) 計測ヘッド上面図

(b) システム正面写真

図5 試作した i-lidar A 装置

従来試作した i-lidar では周波数シフト帰還形レーザを用いた距離測定用干渉光学系から放射される 1本のレーザビームだけを用い、ガルバノメータミラーにより 2軸偏向して走査照射し、極座標としてマイボタンの測位を行っていた。このため、視野内のマイボタンの方向を知るにはは

レーザビームで視野全体を走査しなければならず、約 4 秒と長い時間を要していた。したがってこの i-lidar では測位の位置誤差が数 mm 以下と高い精度が得られていたものの、マイボタンの位置検知の高速化が望まれていた。

そこで赤外 CCD カメラで画像的に行うマイボタンの方向計測により方向計測時間を短縮し、レーザビームと 4 分割フォトディテクタによる帰還制御で精密角度計測と高速追尾能力を実現す i-lidar A を設計した。設計した i-lidar A の計測通信ヘッドの平面図を図 5(a) に示す。レーザヘッドの寸法は、528 x 390 x 215mm である。ヘッド内部には、視野角内を照明する赤外 LED アレイ、赤外 CCD カメラ、発振波長 1.48 μ m の半導体レーザ、4 分割フォトディテクタ、レーザ測距儀が光学的に同軸上に配置されている。

この装置 i-lidar A は、まず装置の視野角内のマイボタンの方向を赤外 CCD カメラにより取得する。視野角内は CCD カメラとほぼ同軸の位置にある赤外 LED アレイにより照明されており、CCD カメラは、マイボタンに装備されている再帰光反射シートからの反射光を輝点として撮像する。輝点の重心位置から輝点の i-lidar からの方向を計算することができるので、次にコリメートされた 1.48 μ m 赤外レーザビームをガルバノミラーによりカメラ画像から取得された方向に照射し、4 分割フォトディテクタの光電流が均一になるように帰還制御をかけた時のミラーの角度から精密な方向を計測する。そしてレーザ測距儀によりマイボタンの距離を計測する。マイボタンの方位角と距離が計測できると、マイボタンの三次元位置が決定できる。マイボタンが移動したときには、4 分割フォトディテクタの光電流がアンバランスになるので、バランスするように帰還制御をかけることで追尾することができる。再帰反射した光がフォトディテクタから外れた場合には、CCD カメラにより再発見を支援する。

3. 2 実験

図 5 (b) に試作した i-lidar A の外観写真を示す。上から、計測通信ヘッド、半導体レーザドライバ電源、制御用計算機である。装置は 100BaseT によりネットワークに接続されている。精密追尾のための誤差信号を測定したところ、8m の距離で 10mm の移動に対して、信号電圧差 0.95V と帰還制御を行うには十分な誤差信号が得られた。図 6 に試作した i-lidar A 装置によるマイボタンに装備される再帰光反射シートの移動軌跡の測定例を示す。再帰光反射シートの寸法は約 20mm 角である。グラフ上では、3 次元位置が測定できた場合にのみ打点しているため、点が連続していない部分は装置が反射シートを見失ったことを示している。

図 7 にこの i-lidar A のデータ復号プログラムの実行例を示す。これは i-lidar A に約 8kbps の 8 ビット信号を周期的に半導体レーザ電源の変調端子に入力し、出射光を再帰光反射シートで折り返したフォトディテクタの出力を取り込み、デコードして出力すると共にエラーレートの計測も行う。i-lidar A からの距離等により受光強度が変化するため、閾値を自動調整してエラーの少ない通信を実現するようになっている。半導体レーザ電源の変調帯域制限により低い周波数で変調した結果が得られているが、高速な駆動電源あるいは外部変調器を利用することでさらに高速な変調が実現できる。

Position of i-lidar A Head

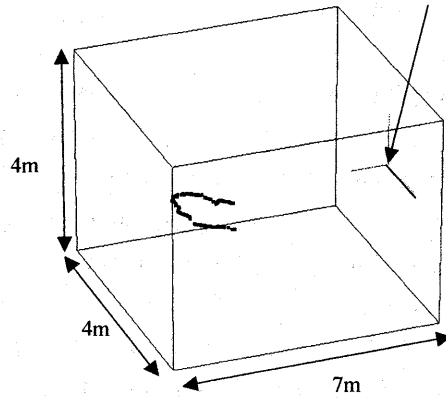


図6 マイボタンの移動軌跡測定例

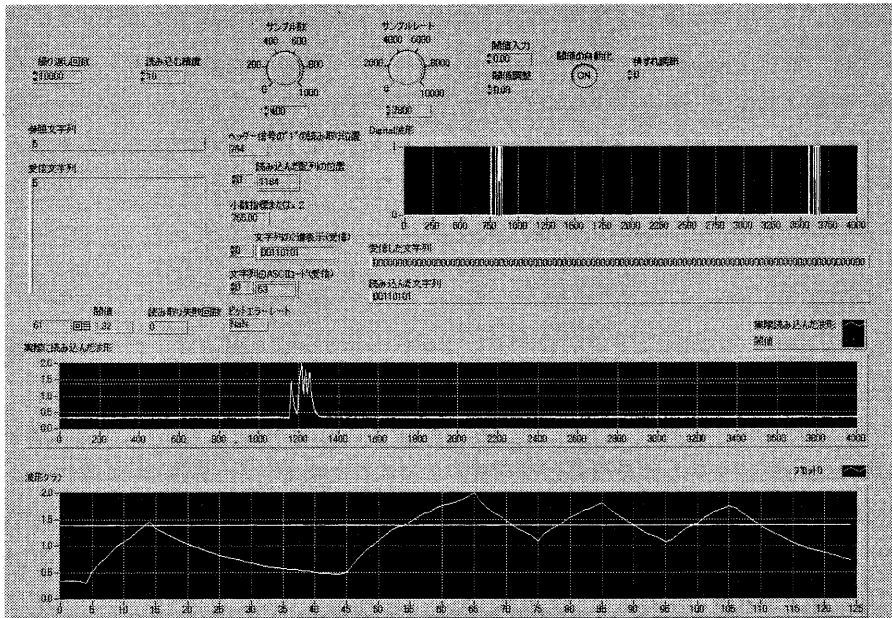


図7 i-lidar A のデータ復号プログラムの実行例

4. 考察

試作した i-lidar A では、得られた誤差信号を用いたフィードバック制御により、誤差 $\pm 1\text{mm}$ 程度の空間位置測位が得られると考えられる。この i-lidar A のレーザ測距儀は可視の半導体レーザを使用しているため、より人体に対する安全性を増すためには、安全な発振波長と出力の製品を

使用する必要がある。

データのダウンリンク（室内レーザーレダからマイボタン）のレーザー出力の変調は一般に、レーザーの直接変調により数 Gbps まで、外部変調器の利用により数 10Gbps まで可能である。[6] この通信速度は現状あるいは次世代の無線 LAN のように数 10Mbps で帯域が制限されることもなく、各携帯通信機器が事実上 無制限の通信帯域幅を享受できることを意味している。

一方、データのアップリンク（マイボタンから室内レーザーレダ）の通信速度は、動作電力を低減するために数 10bps から数 kbps と、桁違いに低速である。このように大きく非対称な通信速度をもった光ビーム通信インターフェース（Asymmetric Speed Optical Beam Interface）では、通常の通信プロトコルをそのまま利用することは効率的ではない。したがってこのような大きく非対称な通信速度に適した通信プロトコルの研究開発が必要であろう。

液晶光変調素子の変調速度は、本報告で述べた低電圧動作型のポリマネットワーク液晶で、約 20Hz であった。したがって、この液晶素子を利用してマイボタンが安定したデータ送信を行う送信速度は 10bps 程度と推定される。このような条件下でも、ユーザの ID や選択肢のような少ビットの情報を送信するには十分な通信速度であると考えられる。より高速の通信を行いたい場合には、強誘電性液晶変調素子[7]の利用が考えられる。強誘電性液晶を利用する場合には入射光に対する偏光依存性が発生するため、変調素子の方向により信号強度が変化する課題があるが、-3dB 周波数帯域は 4kHz を越えるので、音声情報のアップロードも可能になり、音声認識などの処理をネットワークを介して実行し、ユーザに情報サービスを提供できるようになる。

図 8 に空間光通信を利用した、美術館におけるユーザ支援の例を示す。ユーザが所持しているマイボタンは、再帰光液晶素子の反射率変調により、i-lidar にマイボタンの ID を送信している。したがって情報環境は、そのユーザの属性、例えば使用言語、説明の詳細さのレベルなどを把握している。ユーザが展示物のそばでマイボタンのボタンを押すと、マイボタンは ID 送出に代わり、情報要求信号を送出する。情報環境はマイボタンの位置とその軌跡を詳細に知ることができるので、どのユーザがどんな軌跡でどの展示物の前に到達したのかを把握している。したがって、情報要求に応じてその展示物の説明がマイボタンに送出されることになる。説明のデータはデジタル情報でもよいし、CoBIT[8]技術を用いて、アナログ音声情報により低消費電力で情報提供をしてもよい。図では、展示物の正面にいる英語を話す大人には英語で詳細な解説を、側面にいる日本人の大人と子供には日本語でそれぞれのレベルに応じた解説を行っている。詳細度や時間の異なる解説文を何種類か準備すれば、途中でレベルをインタラクティブに切り替えて情報提供を受けることができる。

5. まとめ

携帯情報端末（マイボタン）の低消費電力動作のための再帰光反射率変調方式による屋内における位置に基づく通信技術について述べた。ポリマネットワーク液晶光変調素子は 3V 帯域幅 20Hz での動作が可能であることを示した。基地局となる i-lidar はマイボタンを数 mm 以内の誤差で測位が可能で、大きな通信速度の非対称性を持つ双方向通信が可能であることを示した。今後は開発した測位通信システムを用いて位置に基づく情報支援サービスを実装していく予定である。

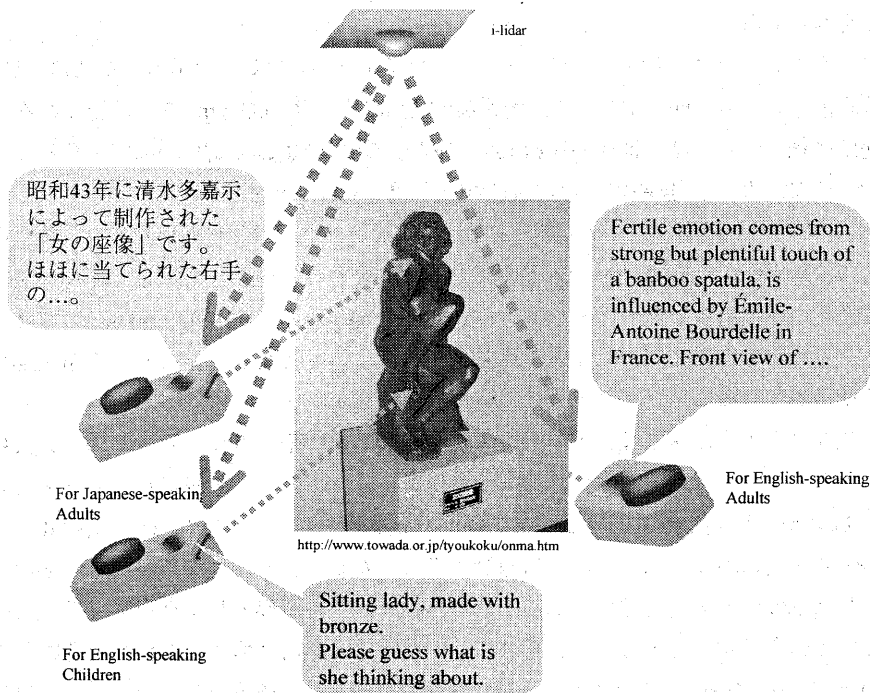


図8 美術館でのユーザ案内の例

References

- [1] H. Itoh, S. Yamamoto, M. Iwata, and Y. Yamamoto, "Guest guiding system based on the indoor laser radar system using HV targets and a frequency shifted feedback laser", *Proc. Of Inter. Topical Meeting on Contemporary Photonics Technologies 2000 (CPT2000)*, Tc-23, pp.117-118 (2000).
- [2] Hideyuki NAKASHIMA and Koiti HASHIDA, "Location-based Communication Infrastructure for Situated Human Support", *Proc. of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI2001)*, Vol.IV, pp.47-51, (2001).
- [3] 中村嘉志, 西村拓一, 伊藤日出男, 中島秀之, "位置に基づく個別情報支援のためのID出力無電源小型情報端末 ID-CoBIT", *情処研報*, 2002-MBL23ITS11-2, (2002).
- [4] Dataslim2 ホームページ: <http://dataslim.angel.co.jp/>
- [5] 林新, 伊藤日出男, "小型情報端末用 DataSlim2 の空間光通信方式", *情処研報*, 2002-MBL23ITS11-27, (2002).
- [6] 住友大阪セメントホームページ: http://www.socnb.com/index_e.html
- [7] H.Itoh, T.Nishimura Y.Yamamoto, H.Nakashima, "Ferroelectric liquid crystal spatial light modulator for location-based communication with higher data transfer rate", *Technical Digest of Conference on Lasers, Applications, and Technologies (LAT2002)*, LQF1, p.189 (2002).
- [8] T.Nishimura, H.Itoh, Y.Yamamoto, H.Nakashima, "A Compact Battery-less Information Terminal (CoBIT) for Location-based Support Systems", *Proceedings of SPIE Vol.4863, Java/Jini Technologies and High-Performance Pervasive Computing*, pp.80-86 (2002).