
電子白杖の現状と今後の展望

職業能力開発大学校福祉工学科

古野 二三也*

1. はじめに

視覚障害者が独力で安全に歩行できるよう支援する電子機器として、超音波技術を利用した機器が国内外で使われている。形状としては懐中電灯形、眼鏡形、ヘッドバンド形などがある。これらは、歩行者の前方や斜め前方1～4mまでの範囲にある物体までの距離を音のトーンや大きさに、あるいは機器自体の振動に変換することにより、歩行者は物体の存在やその位置を知ることができる。これらは白杖の補助として有用な電子機器であるが、白杖以外にこの機器を手を持ちたり、顔や腰部や頭部に装着せねばならぬことと、本質的に電力消費の多いことが欠点である。

一方、白杖自体の中に光電子素子を組み込んで、歩行中に前方にある障害物を光学的に検知する電子白杖が国内外で研究開発されている。白杖以外の物を持ちたり装着する必要がなく、また、超音波に比べて原理上電力消費が少ないという利点がある。古くは1970年代初期に米国で開発され、最近では新しいタイプが米国や我が国で開発されつつあるが、普及するには至っていない。

ここでは、これらの電子白杖を、その原理、機能、使用方法、特徴、問題点などの面から比較しながら述べるとともに、今後を展望する。

* ふるのふみや 職業能力開発大学校福祉工学科 〒229 神奈川県相模原市橋本台4-1-1
電話 0427-63-9231 FAX 0427-63-9242

2. 米国Bionic Instruments社のレーザ杖

1964年頃から研究を開始し、5段階の試作とThe Veterans Administration（米国傷痍軍人省）による評価を経て、1974年に最終モデルであるC-5レーザ杖が完成して発売された。

この研究時期の後半は、米国はアポロ11号による人間の月着陸を達成して宇宙開発計画を縮小しつつあった時期であり、NASA（米航空宇宙局）に所属する、或いは関連する多くの工学技術者やこの計画で得られた先端技術の多くをリハビリテーション工学分野に向けていた。そのため、このC-5レーザ杖には当時としては極めて高価な赤外半導体レーザ、NiCd電池、強化軽量プラスチックや、高度のIC化技術、光半導体素子を用いた光三角測量方式などが使われた。この電子白杖は、前方や斜め上前方の一定距離内にある障害物を検知すると共に、歩行路内にある下り段差を検知し、これら検知結果を音や人差指への振動刺激で教えてくれる。

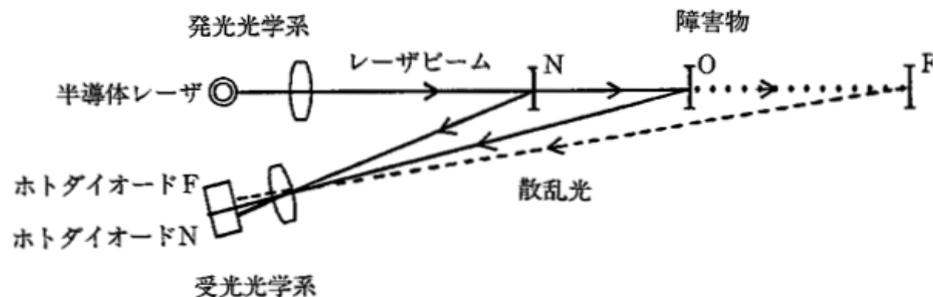


図1 光三角測量方式の原理

前記の光三角測量方式の原理を図1に示す。発光光学系中の半導体レーザからのビームは障害物に当たって散乱し、その散乱光の一部は受光光学系中の2個のホトダイオードで受けられる。障害物が存在しないか、一定距離Oよりも遠くに、例えばFにある場合には、散乱光は戻ってこないか、またはホトダイオードFの方に多く入る。障害物が一定距離Oよりも近くに、例えばNにある場合には、散乱光はホトダイオードNの方に多く入る。障害物が余りにも近くにある場合には、散乱光はいずれのホトダイオードにも入らない。これにより障害物がある一定距離範囲内に入ってきたことを知ることができる。

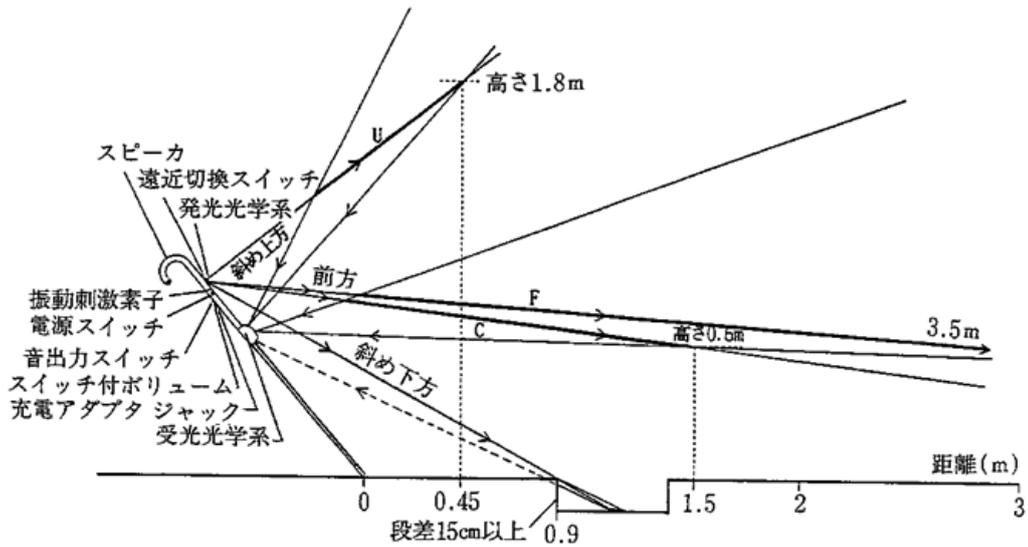


図2 Bionic Instruments 社のレーザ杖の概略構造と検知範囲

このレーザ杖の概略構造と検知範囲(Benjamin Jr., 1973) を図2に示す。グリップの直下にある発光光学系からは、レーザビームが斜め上方、前方及び斜め下方に出射される。このうち前方へのビームは、遠近切換スイッチによって出射角度を変えられる。斜め上方及び前方へのビームが障害物に当たるとその散乱光が発光光学系の28cm下にある受光光学系で受けられ、前記の光三角測量方式の原理によって、ビームの一部である太線U、F、Cと交差する障害物を検知できる。

斜め下方へのビームは、通常は歩行路面により散乱されて受光光学系に戻ってくるが、杖の先端から約90cm前方に、15cmよりも深い下り段差がある場合には戻ってこない。これによって歩行路内にある下り段差を検知できる。

図2に示す検知範囲は、杖と地面とのなす角度によって多少異なってくる。この図は、C-5レーザ杖の訓練のための教本(The Veterans Administration, 1975)で推奨している50度の場合を示している。

グリップの頭部にはスピーカが内蔵されており、スイッチ付ボリュームのスイッチを切ると電池の残量がスピーカからの音の大きさと表示され、スイッチを入れてボリュームを回すと障害物の存在を示す音の大きさを調整できる。表1にこのレーザ杖のおもな機能と仕様を示す。

表1 Bionic Instruments 社のレーザ杖のおもな機能と仕様

障害物検知範囲と出力：	
斜め上方	：（杖先端から前方へ0.5m以内 で高さ1.8m以内） : 2.6kHzの音
前方（遠）	：杖先端から前方へ3.5m以内
前方（近）	：杖先端から前方へ1.5m以内
（基本は触覚振動刺激 1.6kHzの音を付加できる）	
斜め下方	：（杖先端から約90cm前方で 15cmよりも深い下り段差） : 200Hzの音
半導体レーザ：波長905nm, 3個, パルス幅0.2 μ s, 40Hzのパルス駆動	
ビームの直径：3mの距離で2.5cm	
光センサ	：pinホトダイオード
重さ	：約500g
消費電力	：最大460mW
電源	：NiCd電池（充電式）, 225mA-hr, 5個
連続使用時間：約3時間	
充電時間	：約12時間
価格	：約2000US\$

前記の教本によると、通常の白杖を正しく使える視覚障害者の場合、この訓練には最低でも30時間を要する。この白杖は、腰から頭部にかけての前方にある障害物を検知できるのみならず、通常の白杖の先端で検知する以前に、下り階段や駅のプラットフォームの縁などを検知できるという長所をもっている。

一方、機能を盛り込み過ぎたためにスイッチが4個あるなど操作が複雑であり、出力情報の種類が多すぎるために歩行者は困惑しがちであること、重さが通常の白杖の約2倍と重いこと、下り段差を検知できる距離範囲が極めて狭いこと、路面が黒色のビニールタイルやアスファルトや大理石などの場合にはレーザの散乱が少なく誤動作をすること、価格が高いことなど多くの欠点をもっている。このため米国においてさえごく一部の視覚障害者に用いられているに過ぎず、現在は販売されていない。我が国ではかつて評価用に2～3本輸入されたのみである。

3. スエーデンのレーザ杖

1973年頃、スエーデンの国防技術研究所とウプサラ大学が共同でレーザ杖の研究を開始した。当時、前述の米国Bionic Instruments社のレーザ杖は最終モデルC-5の直前のモデルC-4の段階であり、このC-4レーザ杖がもつ下記の欠点を克服すべく研究を進めて実用化を目指した（Fornaesus and Jansson, 1974）。

①視覚障害者にとっては障害物に関する伝達情報3チャンネルは多過ぎ、また、操作が複雑である。

②重さは通常の白杖の約3倍の750gある。

③価格は約5000米ドルと高価である。

このレーザ杖の障害物検知の原理は、前記米国のレーザ杖と同じ光三角測量方式であるが、レーザビームを1本にして伝達情報を1チャンネルとした。これによって全体の構造を簡易化し、操作を容易にし、重さを軽くして低価格を目指した。この1本のレーザビームは、歩行中に衝突すると最も危険であり、ま

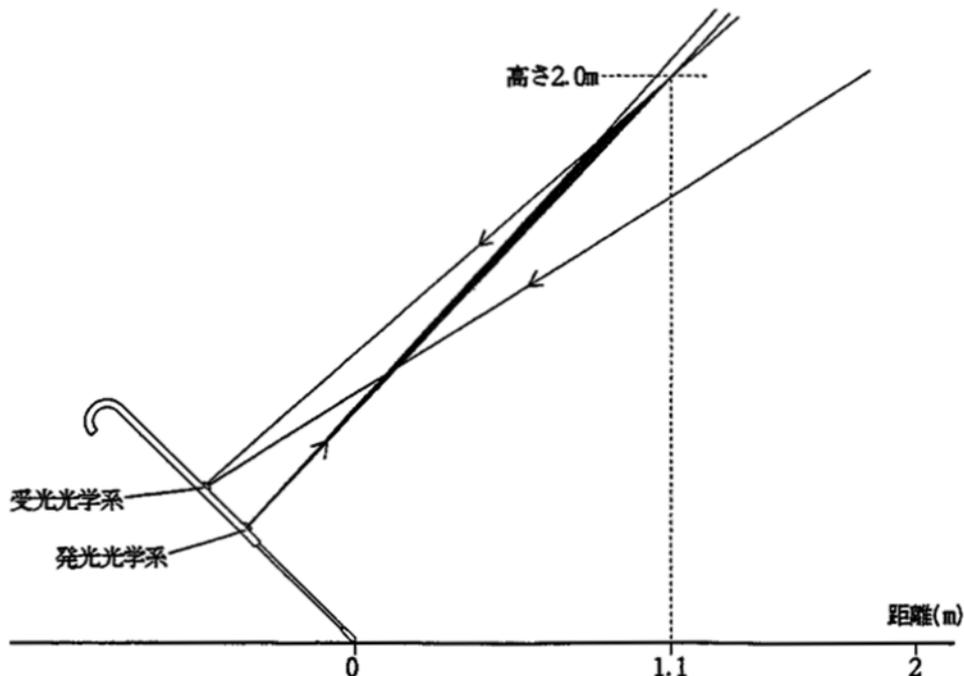


図3 スエーデンのレーザ杖の障害物検知範囲

た通常の白杖では検知できない顔の前方にある障害物を検知できるよう、斜め上方を選んだ。障害物の存在は、組み込まれた小形スピーカからの音で知らせてくれる。目標とした重さは、通常の白杖の200gに可能な限り近く、目標価格を1000米ドルとした。このレーザ杖の障害物検知範囲を図3中に太線で示す。杖と地面とのなす角度は45度を標準としている。

実際に試作されたプロトタイプの場合は300gよりも僅かに軽く、厳密に各種の評価試験が行われた。しかし、その後研究は中断され、製品化はされなかった。製品化まで至らなかった理由は次の3つと推定される。

①この試作・評価が行われた直後に米国で、C-4レーザ杖に比べて軽量で低価格のC-5レーザ杖が完成し、発売された。これはC-4レーザ杖に比べて重さと価格面でかなり進み、実用に近いと判断した。

②レーザ杖のキーコンポーネントである赤外半導体レーザ、光センサ、カスタムIC等は当時は高価であり、NASAが培った高信頼性のこれら電子素子をスウェーデンでは容易には製作、あるいは入手できなかった。

③目標価格1000米ドルを実現できる見通しが立たなかった。

4. 米国Nurion-Industries社のレーザ杖

前述のように米国のC-5レーザ杖が多くの欠点をもつため、その簡易化と

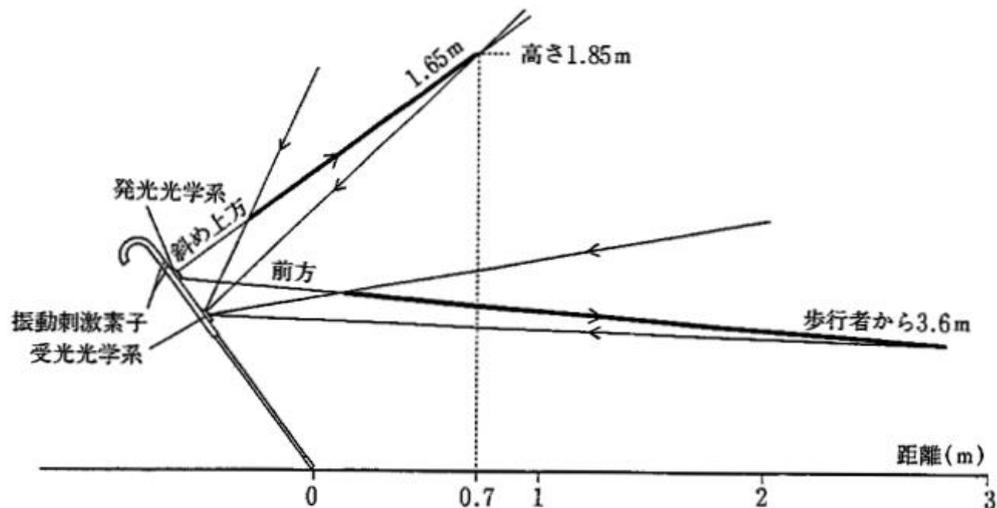


図4 Neurion-Industries社のレーザ杖の障害物検知範囲

操作の容易化を目指して研究開発を行い、1993年にN-8 レーザ杖として Autofold社から発売された (Nurion-Industries, 1993)。

N-8 レーザ杖の障害物検知の原理やその中で使用している主要な電子素子は、C-5 レーザ杖とほぼ同じである。但し、3本のレーザビームのうち斜め下方のビームを省いて斜め上方及び前方の2本としている。障害物検知範囲を図4に示す。杖と地面とのなす角度は52度前後を標準としている。

杖を持つ手の人差指に当る位置に、上下に約2cmの間隔で2個の振動刺激素子があり、斜め上方及び前方の障害物検知情報は、これら上下の振動刺激素子によって人差指に伝えられる。情報伝達を基本的には触覚によっている点もC-5 レーザ杖と異なる。これは、屋外歩行の際には聴覚を妨害せずに自由にしておくべきであり、また聴覚・視覚重複障害者にも役立てるという設計思想に基づいている。しかし、音も聴けるようにスイッチを備えている。Nurion-Industries社のレーザ杖のおもな機能と仕様を表2に示す。

表2 Neurion-Industries 社のレーザ杖のおもな機能と仕様

障害物検知範囲と出力：	
斜め上方	杖と直角に1.65m以内 (基本は触覚振動刺激、音を付加できる (高音))
前方	歩行者の前方3.6m以内 (基本は触覚振動刺激、音を付加できる (低音))
半導体レーザ：赤外，パルス駆動	
光センサ	ホトダイオード
重さ	約450g
電源	NiCd電池 (充電式) またはアルカリ電池
暫定価格	約2500US\$

1994年1～2月にメルボルン大学で開かれた第7回国際モビリティ会議で展示・実演されていた試験販売モデルを、短時間ではあるが、試用する機会があった。杖全体は450gとやや重い、重心が杖の中央よりもかなり上方にあり、通常の白杖としての操作には短時間ならば支障ないと感じた。しかし、長時間歩行する場合には疲れを感ずるであろう。光学系のうち受光光学系は、杖本体

の直径よりも前方に約15mm、左右に数mmずつ突き出ている。杖を倒したときなどにこの部分に大きな衝撃が加わる恐れがあるのが気になった。直径約3mmの2個の穴からは、2個の振動刺激素子の頭部が見える。障害物を検知しているときに、それらの振動刺激素子の頭部は振動して人差指を刺激する。人差指での2個の弁別はそれ程困難なくできた。ただし、筆者が試用したときは、障害物検知の確実性の面で不十分であった。説明員によれば、電池が消耗しているらしいとのことであったが、電池の消耗をチェックする機構がこの杖には付いていない。また、この不確実性は、障害物の色の影響ではないかと感じられた。

5. 日本の電子白杖

1990年から職業能力開発大学校福祉工学科(以下、能開大という)で研究が始められた。我が国の電子工学技術、光電子素子を活用して、構造が簡単で操作が容易で信頼性が高く、軽量で低価格の電子白杖を開発することを目標としている。米国やスエーデンのレーザ杖とは、次の点で異なっている。

- ①発光素子としては、半導体レーザよりも低価格の発光ダイオードを使用。
- ②障害物までの凡その距離を知ることができる。
- ③障害物までの距離情報は人差指への振動刺激周波数。

能開大による研究モデル1、シースターコーポレーションとの共同研究によるモデル2の試作・評価を経て、現在モデル3を試作・評価中である。モデル

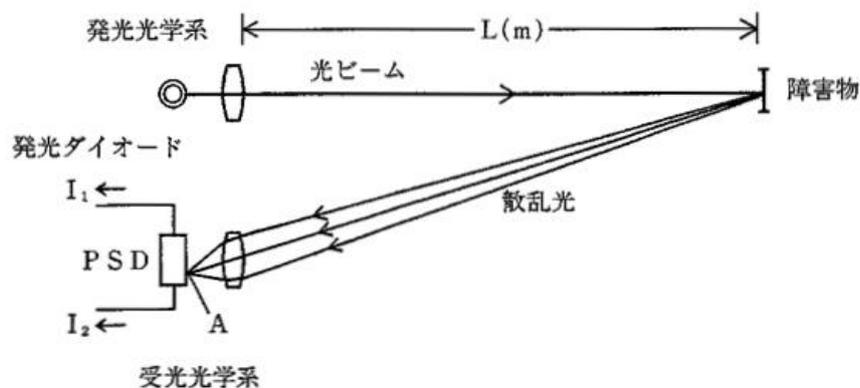


図5 能開大の電子白杖の距離測定原理

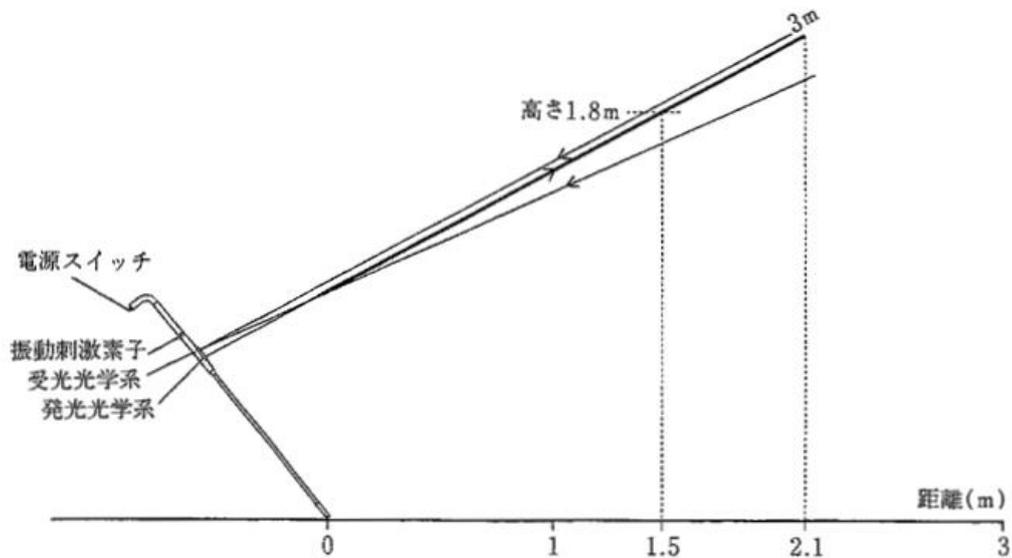


図6 能開大の電子白杖の概略構造と障害物検知範囲

1は永田ら(1993a, 1993b)により、モデル2は古野ら(1994)により発表された。

距離の測定原理を図5に示す。基本は光三角測量方式であるが、2個のホトダイオードに代えて1個のPSD(半導体位置検出素子)を用いている。発光ダイオードからの光ビームは距離L(m)の位置にある障害物に当たって散乱し、散乱光の一部はPSDで受けられ、その表面に光点Aを結ぶ。A点の位置は距離Lによって決まる。またPSDの2つの出力電流 I_1 と I_2 の比はA点の位置によって決まる。従って、 I_1 と I_2 の比を測定することによって距離L(m)が求まる。

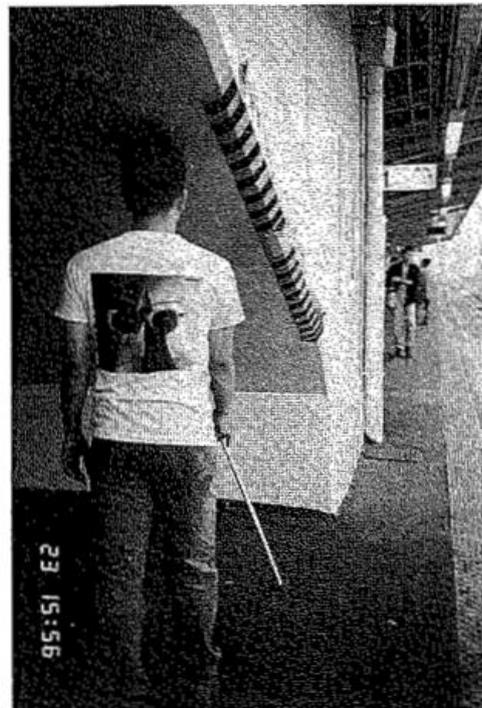


図7 能開大の電子白杖の使用状況

表3 能開大の電子白杖のおもな機能と仕様

障害物検知範囲：
斜め上方のビーム長で3.0m以内
触覚振動刺激素子の振動周波数：
3.5m以上では 無振動
3.0m では 5 Hzで振動
0.5m では 50Hzで振動
0.5～3.0mでは 振動周波数は距離に反比例
発光ダイオード：波長890nm, パルス幅0.4ms, 20Hzのパルス駆動
ビームの直径：2 mの距離で18cm
光センサ : PSD (半導体位置検出素子)
重 さ : 430g
消費電力 : 最大40mW
電 源 : 単四形アルカリ乾電池, 4 個
連続使用時間：72時間

出力電流 I_1 と I_2 の比はさらに周波数に変換され、距離に関係した周波数で振動刺激素子を振動させる。

この電子白杖(モデル2)の概略構造と検知範囲を図6に示す。杖と地面とのなす角度は52度を標準とした。これは通常の白杖歩行訓練をする場合の平均的な角度である。光ビームは、顔の前方にある障害物を検知できるように斜め上方への1本として構造と操作の簡易化を図った。図7は駅のプラットフォームでこの電子白杖を使用している状況である。モデル2のおもな機能と仕様を表3に示す。

試作中のモデル3では構造と検知範囲に多少の変更を加えているが、基本的にはモデル2に近い。モデル3では電池電圧低下の際の警報機能と歩行訓練用の無線伝送によるモニターシステムを付加している。そのほか、一層の軽量化、低消費電力化と電池交換の容易化を図ると共に、光学的に検知する方式の欠点である直射日光の影響と障害物の色による出力差の問題を解決すべく、実験と検討を現在、行っている。

6. 各時代の技術を反映した電子白杖

電子白杖の研究が米国Bionic Instruments社によって着手されてから約30年を経過した。当時は時代の最先端技術を駆使して製品を開発するというシーズ指向に片寄り過ぎたため、技術的には優れた機能をもつレーザ杖であったにもかかわらず、広く実用になるまでには至らなかった。この反省の上に立ってスウェーデンの技術者と関係者たちは、構造と機能と操作の簡易化を目指した。しかし、スウェーデンで研究が行われた1970年代前半は、光電子素子が高価、電子回路の多くを高価なハイブリッドICに頼っていた時代であり、結局はコストと製品の信頼性の面で行きづまった。1980年代の後半に入ると信頼性の高い光電子素子が一般化して安価になり、ICはハイブリッドICに代わってモノリシックICの時代になり、オーディオ・ビデオ関連機器、カメラ、時計などの電子機器は高信頼化が進むと共に一挙に小形・軽量、低消費電力、低価格となった。即ち、この時代になって、真の意味で実用になる電子白杖を実現できる電子技術的基盤が整ってきたといえる。

この電子白杖に限らず、障害者専用の電子機器では、一般家庭用機器などの量産品ですでに実績のある電子技術や電子素子を使用すべきであると考え。これにより製品の高信頼性化、小形・軽量化、低価格化を実現し易くなる。

Nurion-Industries社と能開大が、奇しくも1990年頃に研究を開始して1993年に試作品を発表したのは、長い間のニーズに加えて1980年代の後半に世界的に電子技術的基盤が整ったからであろう。

7. 今後の展望

英国王立盲人協会のGillら（1993）は、21世紀には人工衛星を利用した視覚障害者のナビゲーションシステムが普及するであろうと予測している。しかし、白杖はその時代になっても視覚障害者の歩行にとって必需品であり、その白杖と外見も使用方法もほぼ同じでかつ歩行の安全に大きく寄与する電子白杖は、次に示す諸要件を満たせば、今世紀末には広く使われることになろう。

（1）高信頼性・耐候性

急に故障して動作しなくなったり、電池の寿命がきたのを気付かずに使用すると、歩行者は危険な状態にさらされる。雨雪や高温に強く、耐衝撃性、耐久性、高信頼性のある全体構造と電池寿命の予告機能をもつこと。

（2）障害物検知範囲の最適化

前述の4種類の電子白杖は、発光光学系と受光光学系の位置、光ビームの本数、方向、直径、強さによって決まる障害物検知範囲は互いに異なり、一長一短がある。光ビームは斜め上方の1本か、精々これに前方を加えた2本とし、今後試行を重ねて検知範囲を最適化する。

（3）操作と取扱いが容易

通常の白杖とほぼ同じ操作で使用でき、特別な取扱いを殆ど必要としないこと。具体的には、重さは300g以内でバランスがよく、スイッチは精々1個。電池は交換容易で200時間連続使用できる。充電可能の電池も考えられるが、世界各国で電源コンセントが異なることと充電の煩わしさを考えると、200時間連続使用できれば、世界中の何処でも売っている通常の電池のほうが好ましい。

（4）低価格

販売数量が伸びれば、技術的観点からは5万円程度が可能であろう。価格をどこまで安くできるかは、製造者の設計技術と生産技術、訓練プログラム及び販売ルートにかかっている。

（5）単純な構造

構造を単純化すれば、一般に信頼性が上がり、操作が簡単になり、価格は安くなる。

（6）距離測定機能

現在のところ能開大の電子白杖のみがこの機能をもっている。単に障害物の存在が判るのみではなく、それが近付きつつあるのか、1mまで迫っているのかななどを簡単に知れば、極めて有用な情報となる。このことは超音波技術を利用した歩行補助機器で実証されている。触覚による振動周波数弁別能を考慮すれば、距離に対して連続ではなくても、3段階の距離範囲の何処に障害物が存在するのかが判るだけでも価値がある。

（7）触覚振動刺激出力

特に屋外での歩行の安全性を高めるためには、聴覚を妨害しないように、手や指への振動刺激のみを使うことが重要である。白杖を持つ手の指が自然に当る位置に振動刺激素子を置く。

（8）歩行訓練プログラム

電子白杖を安全かつ有効に使用するには一定時間の歩行訓練が必要である。歩行訓練の専門家主体に、歩行訓練プログラムと訓練設備を完備する。ただし必要な訓練期間が長すぎると、負担や抵抗を感じて広くは使われなくなる。これは「（3）操作と取扱いが容易」とも関連する。

（9）歩行訓練用モニターシステム

訓練プログラムに従って歩行訓練を行うときに、電子白杖の一部に小形無線発信機を取り付け、訓練生が得ている検知情報と同じ情報を数m離れた訓練士に無線で送信し、訓練士はそれを受信機で受ける。

（10）光学技術を利用した方式の欠点の除去

直射日光の影響や障害物の色による出力差をなくす。

以上10項目の全要件を満たす電子白杖は現在のところ世界中に存在しない。しかし、日本国内では能開大と企業がその実現に向けて研究開発を行っており、今後2～3段階の過渡的な製品を経て、今世紀中には上記の全要件を満たす電子白杖が実現して世界中の視覚障害者の役に立つことを念願している。

8. おわりに

能開大の電子白杖の研究開発の過程で有益なご意見とご助言を頂いた日本ライトハウス養成部の芝田裕一氏、国立身体障害者リハビリテーションセンター学院の坂本洋一氏、東京都心身障害者福祉センターの村上琢磨氏、神奈川県総合リハビリテーションセンター七沢ライトホームの中村泰三氏、実験に協力頂いた浜松ホトニクス（株）の富田俊彦氏と能開大福祉工学科の学生諸氏、及び試作と製品化に尽力されているシースターコーポレーション殿に深く感謝の意を表します。

参考文献

- J. Malvern Benjamin, Jr. 1973 THE NEW C-5 LASER CANE FOR THE BLIND. Carnahan Conference on Electronic Prosthetics. 77-82.
- VETERANS ADMINISTRATION 1975 A TEACHING GUIDE FOR THE C-5 LASER CANE. College of Education Western Michigan University.
- Lars Fornaeus & Gunnar Jansson 1974 THE SWEDISH LASER CANE-DEVELOPMENT AND EVALUATION. European Conference on Technical Aids for the Visually Handicapped, 61-65.
- NURION-INDUSTRIES 1993 THE LASER CANE PRELIMINARY PRODUCT INFORMATION.
- 永田広治・松田英夫・古野二三也 1993 a 視覚障害者用測距白杖の研究. 職業訓練大学校紀要第22号A, 1-13.
- 永田広治・松田英夫・古野二三也 1993 b 視覚障害者用測距白杖. 第8回リハビリテーション工学カンファレンス, 421-426.
- Fumiya Furuno, Hideo Matsuda & Koji Nagata 1994 OPTO-ELECTRONIC CANE FOR MOBILITY AID. The 7th International Mobility Conference, A42.
- John Gill 1993 A VISION OF TECHNOLOGICAL RESEARCH for visually disabled people. THE ENGINEERING COUNCIL.