

歩くという拡張性 - i footのデザイン開発

布垣直昭*

飛永英毅**

倉知伸治***

2005年日本国際博覧会トヨタグループパビリオンに出展された、世界初となる人が乗って操縦する搭乗歩行型ロボット「i foot」は、会期中2,555回のステージを無事故で終了した。05年のグッドデザイン賞では、万博という特別な催しに求められるエンターテインメント性だけでなく、災害時の対応車両としての可能性や、移動の自由を拡大するモビリティとして、その信頼性をも証明し、また、新しいモビリティジャンルの開発にチャレンジした意欲と実現力を海外審査員からも高く評価された。そのi footの開発の発端から、コンセプトワーク、デザインとエンジニアリングとの一体的な開発の実際を紹介する。

Extendibility of Walking : Design Development of i-foot

Naoaki NUNOGAKI*

Hideki TOBINAGA**

Shinji KURACHI***

'i-foot', the world's first mountable walking robot, was exhibited at TOYOTA group pavilion in the 2005 World Exposition in Aichi, Japan. It accomplished 2,555 stages without any accident. At the 2005 Good Design Award, i-foot was evaluated for its entertaining aspect for special events such as Expo, possibility as a disaster-relief vehicle and proven reliability as a mobility that can expand the freedom of movement. Especially, the jury which included foreign judges evaluated highly the challenge to develop this new type mobility. The following explains the beginning of i-foot development, concept planning, and corporative development between design and engineering division.

1. はじめに

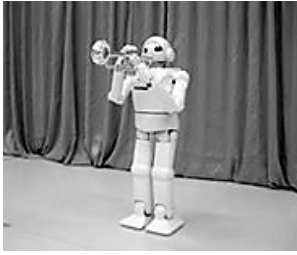
i foot開発のきっかけは、生技開発部の極秘プロジェクトチームの一人のエンジニアが持っていた、「ロボットに乗って操縦して歩いてみたい」というガンダムに思いを馳せていた子どもの頃からの夢であ

った。おりしも2001年にトヨタ自動車(株)内で愛知万博の出展企画委員会がスタートし、トヨタグループとして何をすべきかが社外専門家も招聘しながら何度も議論されていた。自動車とそれをとりまくあらゆる乗り物、都市や生活、環境などあらゆる視点から将来への方向性等を検討し、ロボットプロジェク

* トヨタ自動車(株)デザイン本部東京デザイン部部长
General Manager, Tokyo Design Div. Design Center,
Toyota Motor Corporation

** 榎屋デカル工業株式会社デザイン部部长
General Manager, Dept. of Design,
Tsuchiya Decal Industry Co., Ltd.
(2005年までトヨタ自動車(株)デザイン本部グローバルデザイン統括部に在籍)

*** トヨタ自動車(株)パートナーロボット開発部第3開発
グループGM
Group Manager, Partner Robot Development Div.,
Toyota Motor Corporation
原稿受理 2006年10月23日



P.39グラビア参照。
Fig. 1 トヨタパートナーロボット

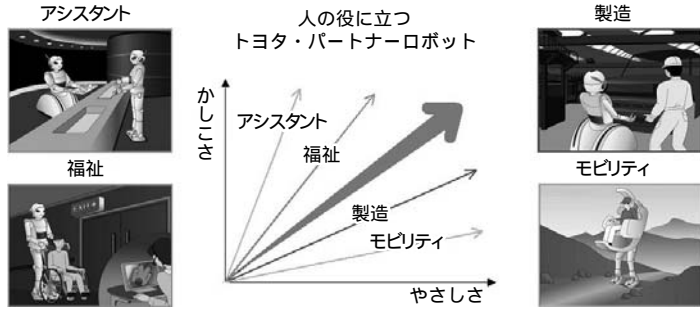


Fig. 2 ロボットの位置付け図



Fig. 3 i-foot 最初の試作機による歩行テスト



Fig. 4 4本足から2本足へ、そしてi-footへ



出典) ラスター・タール著『馬車の歴史』 P.18、平凡社、1991年。
Fig. 5 ころで獲物を運ぶ原始人(L. Laknerの絵より)



出典) ラスター・タール著『馬車の歴史』 P.374、平凡社、1991年。
Fig. 6 「ランナウェイ」(トマス・ローランドソンの絵より)

トがその中に組み込まれた。そして他のプロジェクトを含めて八つのワーキング委員会から出展物案が提案された。その結果、全体を通したストーリーやトヨタグループとしての統一感、万博として未来を予感する表現の仕方などのデザインマネジメントが必要とされ、筆者のうち布垣と飛永の在籍していたグローバルデザイン統括部が、出展物のコンセプトワークと実際のデザインコーディネートを担当することとなった。

本稿では、i footプロジェクトの意味と実際のデザイン開発の過程、アピールの方法等、企画から将来にわたっての夢等を紹介する。

2. 歩くということ

04年3月11日にi footと同時に発表されたトヨタパートナーロボット(Fig.1)は、単独で歩行しながら人工肺機能によって楽器を自ら演奏することで、人

間のような感情を表現し伝えることで感動を与えてくれるものだが、本体はあくまでも人の形をしたロボットであった。

トヨタのロボット開発には、当初から人の活動をサポートする「やさしさ」と「かしこさ」を基本コンセプトとする「パーソナルアシスト」という概念があり、人の役に立つロボットを創りたいという願いがあった。それはものを作ったり運んだりするような機能的に役に立つというだけではなく、楽器演奏等の心を癒すやさしい姿、温かいサポートを持った姿をもイメージしていた。

ロボットの開発過程では、はじめは不器用で単調な演奏がどんどん技術がレベルアップし、プロの演奏家に姿勢やしぐさまで学び、やがて高度な演奏ができるようになっていった。しかし、一方で演奏が自然になるほど観客からはロボット自身が演奏しているように見えないのではないかという悩みも出る

ほどであった。開発段階で行われたトップ検討会の話題は、細かな部位やコスト等の指摘ではなく、名古屋フィルハーモニーの誰それを呼べばもっとうまく演奏できるのでは？など、よりスムーズな演奏や人間でも難しい複雑な音やアンサンブルの創造についてであった。車の開発とは全く違った毎日の新しい発見や創造と驚きがあり、開発者にとっても大変エキサイティングでクリエイティブな毎日でもあった。

そういった、いろいろな種類のロボットの姿の模索から試作品が創られテストされる中にまじって、直接人が乗って操縦する搭乗型ロボットの開発が冒頭の技術者を中心とした自主活動を発端にスタートした。つまり、人に変わるロボットだけでなくモビリティとしてのロボットが加わったわけである (Fig.2)。

歩くということは機械的な動作以上に、人間に大きな印象を与える。二本足で単身歩くロボットはその動きがスムーズになっていくに従い、また、うまく楽器を演奏しながら歩いているのを見ると、機械に命が吹き込まれたように見え不思議な感じがしたものである。この搭乗型ロボットもはじめの頃は乗員の安全のため特殊な治具に補助されていたとはいえ、倒れるのではないかと暴走したらどうなるのかと大変緊張感のあるものであった。最初は数メートルの歩行を試みただけであったが、人間が直接ロボットに乗り一体となって操縦するということのいろいろな意味を、その数秒間で感覚的に感じ大変興奮したものである (Fig.3)。

二本足で歩くということは人間にとって大きな意味を持っている。二本足で歩くことによって初めて手が自由になり視線が高くなり人間ゆえの行動ができるようになる。何かを持ちながら走ることも投げられることもできるようになる。まさに、あの有名なキューブリックの映画『2001年宇宙の旅』で猿たちが立ち上がり骨を空高く投げたシーンを思い起こした。

トヨタパピリオンのショーのテーマは「動くことは自由であること、動くことは生きること」であり、モビリティを単なる利便性として捉えるのではなく、生命の存在の根源とも結びつけようとした大きなテーマであった (Fig.4)。

ところで、移動ということを考えて時、歩くではなく、車輪の歴史が続いている。歴史書には、車輪について以下のように紹介されている¹⁾。

「前王朝時代における単独の発明で、しかも最も重

要性の大きなものはおそらく車輪であろう。これまで人間は、荷物を運ぶさいには、樹木の幹や丸太の上に橇をすべらせた (Fig.5)。しかし技術的にみると、回転する円筒から、両端に車輪を取り付けた心棒への移行は、ただの一步である」

よい道路がなかったので驢馬と騾馬のほうが、このような粗末な道路ではずっと扱いやすいのであった。古代道路は穴やわだちでこぼこだったので、車の旅行はけっして普通ではなかった (Fig.6)。

文明が発展し、個人の移動の中心的存在は車輪のついた乗り物であったが、これをやがて馬が引き、エンジンの発明により自動車の原型ができた。車が街に増え、また速度が上がるにつれ専用道ができ、道路と車両はセットで景色を塗り替えていった。

常に拡大する歴史の中で大変効率のよいこのシステムは移動速度の向上により世界を同時に縮めた。

車の入れない昔ながらの漁村や農村地域、あるいは下北沢のような歩くことを主体にした街では小規模店舗やコミュニティ組織が守られ温かい人間的な雰囲気が生まれている。車輪のついた乗り物を前提にした道を中心に最初から考えた新都市では、乗り物自体の能力や技術レベルが発達するにつれ、町並みから人同士の距離が離れ、乗り物と歩く人は隔離され、実は人と人もが遊離していく歴史にもなっているともしえるのではないだろうか。

自助具としての車椅子の世界ではその環境はもっと厳しく、段差が全くなく動けるスムーズな道が建物の中にも必要になっている。動くところは全てつながった道が必要ということである。

トヨタのウエルキャブシリーズ等、車と車椅子の間、また車と店舗や公共施設は改良が進んでいるが、まだまだ満足のいく環境ではなく、ましてや道路環境の悪い後進国にいたっては、その発想さえない状態になっていて健常者との間には大きな段差が存在しているのが現状である。

このように、陸上移動体は車輪を中心にした歴史であった。そして同時にそれに必要なインフラが整い、道を中心に街が創られていった。しかし、身近なところからシームレスな移動という観点で考えると、とても満足のいくものではなく、多くの段差のハードルがあることがわかる。

そこで視点を大きく変えて、移動環境を「歩行」を前提中心に考えると、今までの自動車を中心とした道の概念にとらわれず、段差や障害物への対応ができるようになり、環境を大きく変えずに移動がで

きるようになる可能性がある。

3. 愛知万博出展物としてのコンセプト

03年にトヨタはモーターショーで一人乗りのロボットのよう乗り物「PM」を出展した。所有者の個人認証によりオーナーに自ら近づいてきてキャビンが開き招き入れ、オーナーはパソコンのマウスのような操作で自由自在に、その場でも360度転回できるもので (Fig.7) 04年の年頭にはテレビ番組で女性アナウンサーが運転しながら出演したこともある。

これを発展するとどうなるのか? というポストPMプロジェクトが、ロボット開発と同時期にコンセプトワークから始まった。ここでは「未来モビリティを考えるスタート地点は、個の欲求の充足」と考え、「人の拡張」をテーマにおき、他のロボットプロジェクトにも多大な影響を与えることになった (Fig.8)。

つまり、未来の乗り物(ビークル)を考える時に重要なことは、何人の人が乗るかというような複数の乗員の「物」を前提にするのではなく、その意味をもっと突き詰めていくと「個人」の欲求をいかに充足するかを考えることが重要で、そのためには「人の拡張」をすることが必要になってくるといことである。この考えにより基本に立ち返ってその意味するところを明確にすることができ、デザイナーがカタチだけでないトータルな姿、あり方を具体化する目標ができた。

乗り物がインディビジュアル(個人)をインスパイア(鼓舞)する。これによって、「人も地球も もっとすばらしいものになれる」、つまり、モビリティが拓く「人」と「地球」のよりよいツナガリ。さらにこれは個性の発揮・自己実現の喜び・精神的豊かさにも通じるのではないかという考え方である。これをまとめると、以下のようなことになる。

- 個人用モビリティの可能性は「より人に近く」
- ・人との混在・移動範囲の拡大(歩道・建物内走行)
- ・弱者補助・個人での移動の可能性拡大
- 地球のために最適な個人移動を追求
- ・最小環境負荷・最小エネルギーでの移動
- ・用途に応じて最適な手段を選択する賢さ
- 個人のための最良の移動を追求
- ・地球・社会との個人用インターフェース(仲立ち)
- ・個人移動の可能性と喜びを最大限にする
- 「動く 出会う」が触発する、地球社会との一体感

- ・人や場所と出会うドラマによって、個人を鼓舞・触発し、地球・社会との「ツナガリの意識」を自覚めさせる
- ・「個」が輝くことによって「全体」がよりよいものに
- こうした考えをもとに次のような開発キーワードがつくられた。

開発キーワード

- (1)interface
 - ・地球・社会・自己と人をつなぐ
 - ・生身ではできないことができる
 - ・人間の可能性を拡張する
 - (2)intelligence
 - ・自然の叡智から学ぶ人の叡智を結集する
 - (3)biosphere
 - ・バイオスフィア循環との調和最小エネルギーでの移動
 - (4)integration
 - ・地球と人が一つになる積極的な姿勢での共生
 - ・地球も人もよりよいものに
 - (5)interaction
 - ・地球大交流・ITは「会いてー」。出会うためのシカケづくり
 - ・体験の交歓
 - (6)instinct
 - ・出会いたい・ツナガりたい・行きたい。リアルな対象を求めて
 - ・移動する衝動。移動そのものの喜び
 - (7)imagination
 - ・人や場所との出会いで触発される創造性・感動・精神の高揚といった「i」を中心にしたキーワードが生まれた
- これらは、i unit (Fig.9, 10)だけでなく、i footにも共通に生きている考えである。

4. 3次元移動モビリティとしてのニュービークル「i foot」の可能性

i unitは、そのミニマムでウエアラブルに近い姿で歩道から自動車道までを移動する2次元「移動」の究極を考えている。

一方、人が乗って操縦し二足歩行するi footは今までのモビリティにはない「3次元」の移動を実現している。一步一步歩き段差を越える、階段を1段昇る、降りる (Fig.11) それらは小さな一歩でもモビリティにとっては今までの歴史では実現できてい



Fig. 7 一人乗りロボットのような「PM」



Fig. 9 i-unitのイメージモデル

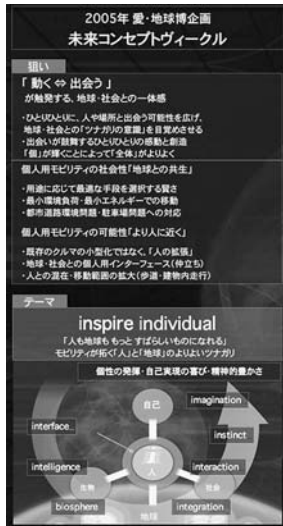


Fig. 8 i-unitコンセプト図

なかった大きな一歩である。

「3次元移動」は、そのものによってよりシームレスなもの、誰にでも開かれたものになる可能性を秘めている。

乗り物がより速くより遠くへ移動することを中心に発達していったのに対し、i footは身近でより自分空間の移動の価値を変える乗り物である。自分で操縦しながら道がないところへも好きな時に好きな場所へ。パーソナルな日常の足としてのモビリティ・ロボットである。これまでのモビリティでは難しかった階段の昇降も可能になり、整地されていない自然なままの地面を移動することも考えられる。目指すコンセプトの一つは“BED TO BED”。

さらに小型・軽量化して、起きてすぐ部屋のベッドから直接乗り込み、そのまま街中の散歩に出ることも目指している。生活の幅を広げるユニバーサルデザインのモビリティ。移動の自由が拡大するエンターテイメントなモビリティ。未来社会では3次元

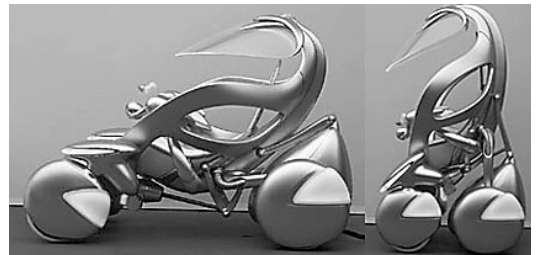


Fig. 10 i-unit低速 / 高速モード



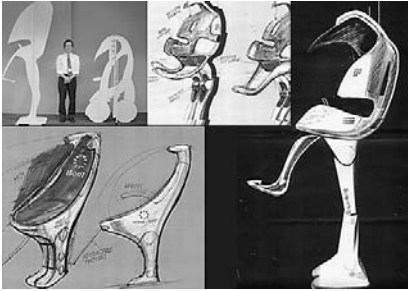
Fig. 11 階段を上る i-foot



Fig. 12 i-footの位置付け図

の移動に適した多様な形態を持ち、操る楽しさを感じさせるそれぞれのi footが登場するであろう。

車の歴史が高効率の追求だった（速く、楽に、遠くへ）のに対し、歩くということの選択は全く逆の追求になるのではないかと想像している。ゆっくりと見下ろし感覚の視界で、足を伸ばせば遠くも見渡せ、どのような地形でも進むことのできる乗り物。それは一人の人が乗る最小限の乗り物である「i-



P.39グラビア参照。
Fig. 13 i-footの初期アイデアスケッチとペーパーモデル

unit」とは同じようでありながら、その行動範囲はまるで違う乗り物になると考えられる(Fig.12)。

5 .i footのデザイン開発の実態

こういったイメージから、初期のデザインは適度にコンパクトで軽いイメージのものを想定していた(Fig.13)。

前述したように、先行試作モデルに人が乗って歩き始めた時に感じた「緊張感」は、感覚的なものだけではなくその後のシミュレーション/評価/実験によって具体的に危ないレベルまでも想定されるようになった。

車はエンジンを切ってもその場に安定して停まっているが、二足ロボットは、電源を切ると人が気を失った時と同じように当然倒れてしまう。安全実験部署の助けを借りて、車と同じようにダミー人形を乗せたシミュレーションや実験評価を繰り返すうちに、倒れるだけでも部分的には大きな衝撃を受けることがわかってきた。

この解決は大変難しく、形状にも大きく影響することから、デザイナーも巻き込んだ激しい議論が繰り返された。ドライバーを守るためにバンパー機能からエアバック等まで広範囲に検討された結果、衝撃吸収ボディを採用することによっていろいろな姿

勢での転倒でもドライバーを守れることがわかってきた。こうした知見は開発中のデザインにも反映され、それまでのすらっとした軽快なスタイルは少しずつ丸さをもった存在感のあるものになってきた。また前倒した場合でも、ドライバーの身体がボディから飛び出さないように頭の角や足先や膝や手をガードする形状にし、両手はグリップを握って操縦するようにして、倒れた時も自分の手を出さないような自然行動を意識したコントロールをも考慮した。シートベルトは上体を固定する為に4点式を採用している。

キャabinは、車のように全体をカプセル化し覆ってしまえば楽であるが、人間が乗って操縦していることをお客様から見ていただくため、またドライバーが暗いステージで周辺の演技者を見ながら操縦しやすくするため、セミオープン仕様とした。このように大きく前方を開けることにより乗員の開放感を確保している。それと同時に、乗員をタイトに包み込む形状にすることにより安心感も確保した。すなわち、搭乗位置が高いことによるメリット(開けた視界)の活用と、デメリット(高さに対する恐怖感)の克服を両立している。また万が一の転倒に対して、乗員の安全を確保する工夫も盛り込まれている。当然ながら転倒しないような制御を行っているが、地震や衝突のように外部からの大きな力に対しては、どうしても転倒してしまう可能性がある。そのような場合でも、乗員にケガなく自力で脱出できるように形状や材料を工夫している。何度もシミュレーションや実験を重ねた結果、現在のシルエットとなったのである(Fig.14)。

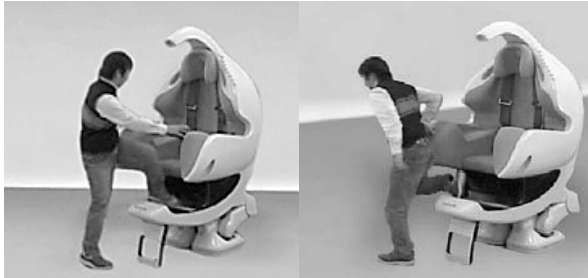
i footのキャabinが丸く厚めなのは、衝撃吸収材に覆われているせいでもあるが、同時にそれは周辺に攻撃的に見えない、圧迫感を与えない少しユーモラスなソフトなカタチを追求した結果でもある。また、大きめのキャabin部と、脚の長さやボリューム



Fig. 14 i-footの最終形状

P.39グラビア参照。

高さ	2,360mm
重量	200kg
関節数 (自由度)	12
可搬重量	60kg
歩行速度	1.35km/h



乗る 降りる

Fig. 15 i-footの乗降時の姿勢

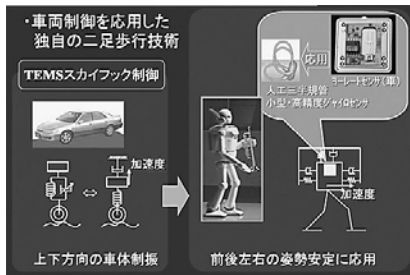


Fig. 17 スカイフック制御

のバランスも最後まで苦労した点である。

新しいジャンルのプロダクトを違和感のないところまで昇華し、一つの典型的スタイルに創造することは、コンセプトを見る人に無言で伝えるために大変大事なことである。

完成をむかえ、屋内環境において考えられる転倒や衝突に対する搭乗者の保護について試験を実施した。その結果、自動車のパッシブセーフティに関する安全規格AIS(Abbreviated Injury Scale)規格にて最高のレベル1(AIS 1)を満足することを確認。AIS 1では一般に事故など大きな衝撃が車体に加わった場合、搭乗者の傷害は最悪でも軽傷に抑えることができる。これにより、i footは当初の狙いの一つでもあった安全性を確保することができたといえる²⁾。

特徴的な足は、鳥のように脚が後ろに折れ曲がることによりキャビンとの干渉を回避し、座面をできるだけ低くして人が乗降しやすいようにしている。また、歩行時は少し後傾しているキャビンを、乗降時にはほぼ鉛直にまで前傾することにより、さらに乗降しやすくしている(Fig.15)

さらに、乗降時のみキャビンのフットレスト下面より補助脚を自動的に出し、両足と合わせて3点支持となるようにしている(Fig.16)。これにより電源を切った状態で周囲から押しても非常に安定させることができ、安心して乗降ができる。またこの他に

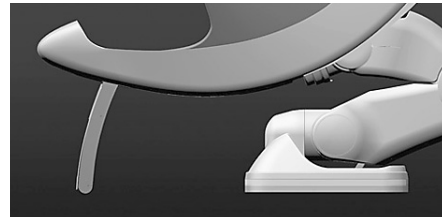


Fig. 16 乗降時の補助脚



右操作部



左操作部

Fig. 18 コントロール系拡大写真

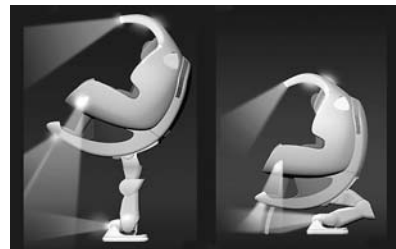


Fig. 19 i-footの立ち姿勢 / 乗降時の姿勢



Fig. 20 シート

も地面が平面でなくとも安定するような工夫もっている。さらに座面角度やボディ形状もフルサイズモデルで何度も実験しながら練り込んだ。そして乗降姿勢の時だけでなく、歩行時も鳥脚タイプとすることで、これまでのヒューマノイドタイプのロボットとの違いを個性的にアピールしている。

また脚のデザインは鳥脚タイプとしても二足ロボットとして人が自然に感じる形状があることもわかった。

乗り心地は、車輪の乗り物とは全く異なるもので左右にゆったり揺れながら進行する。若干揺れを感じるが、二足歩行の足の動きにあった揺れであり、違和感はそれほどない。あえて言うなら、身長2.4mの巨人に抱かれている感じであろう。魔法の絨毯のように全く揺れずに“すうっ”と動くよりも、二足歩行の揺れを感じながら動くほうが、本能的に大きな安心感が得られると考えたものである。

人は、普段歩いていて気づかないが、身体は揺れながらバランスを取っている。i footではジャイロを使いながら自動車の制振技術であるスカイフック制御を応用した技術を使って、常にバランスを保ち続けている(Fig.17)。

操作系は、キャビン右手側にあるジョイスティックを操作して、進行方向や歩行速度を指示する。左手側には照明や乗降姿勢指示等の操作スイッチ、およびバッテリー残量やアラーム等の表示器をまとめたパネルとなっている(Fig.18)。

基本的に操作系は右手主体で直感的に扱えるようにするとともに、スイッチや表示類はできるだけ少なくして乗員への負担を減らしている。斜め後方を確認するための小窓も頭の左右に設けられ、また右手側にはバックモニターがついており後方や後進時の安全確認ができるようになっている。暗いところでは前方や足元を照らすだけでなく歩く動作が他者にわかりやすくするために足先に照明を設定し、また肩部には身体全体のシルエットがわかる連続的な照明もレイアウトされている(Fig.19)。

動きとしては、前後左右と方向転回だけではなく、

その場で360度足踏みするように回ることもでき、ステップを踏みダンスも可能である。

快適性にも配慮し、軽量で薄いが十分に通気性を有し快適な新開発の立体シート表皮材の採用とホールド性と乗降性のよいシート形状を造った(Fig.20)。

3次元モビリティとしてのi footの開発アピール点をまとめると以下のようになる。

個人の移動範囲の拡大

小から大までの発展性

道のないところを自由に移動できる喜び

安全面までの配慮

周囲に危険感を与えないスタイリング

万博での演出にも対応できる象徴的存在感表現

6. おわりに

i footは商品としてデザインされたものではないが、日本国際博覧会トヨタグループパビリオンのための出展物として2,555回出演し、10,400名/日、会期中に関係番組等も含め、200万人以上の世界中の人々が直接目にした(もちろん無事故、無違反)。将来の自分の生活と重ねて、この搭乗歩行型ロボット「i foot」とそれが生み出す可能性を感じさせる姿が将来の生活や文化をイメージさせたのではないかと思っている。

かつて人が進化したようにやがてi footも手を持つ日が来るかもしれない。そしてそれが夢ではなく、街に一步踏み出せる現実の商品化を開発者たちの情熱に期待したい。

参考文献

- 1) R.J.フォース『技術の歴史』岩波書店、P.32、1956年
- 2) 宮川透、他5名: Development of Bipedal Passenger Vehicle (F2006T063), FISITA 2006 World Automotive Congress , P.5, 2006
- 3) 小川章、デンソー技術会「搭乗歩行型ロボット i foot」『50周年記念誌』P.1、2005年