

Soltiluca: 太陽光発電を用いた インタラクティブランドアートの提案

瀬川 辰馬[†] 笥 康明[†]

本研究は、自然エネルギーをアート表現の要素として用いる“インタラクティブランドアート”の創出を目的とする。今回は、その具体的なプロトタイプのひとつとして、太陽光発電とLED発光を用いたアンビエントタイムマシン“Soltiluca”を提案する。これは、日中の太陽光からエネルギーを蓄え、その発電量のログを12時間ディレイし、夜間の屋外空間を日中の照度分布変化に応じて光で彩るものである。本稿では、Soltilucaの概要、デバイス設計、実装および野外で行った検証実験の結果について報告する。

Soltiluca: A Proposal on Interactive Land Art with Photovoltaic Power Generation

Tatsuma Segawa[†] and Yasuaki Kakehi[†]

In this research, we propose a concept of “interactive land art” using natural energy as an element of art-expression. As a one of the specific example, we present “Soltiluca”; an ambient time machine composed of a solar battery and a LED. In this paper, we report the concept of Soltiluca, the device design, implementation, and a result of outdoor experiment of Soltiluca.

1. はじめに

古来より自然は芸術の源として、その役どころを担ってきた。メディアアート分野においても、その関係は重要なものとして保たれてきている。80年代のCGアートムーブメントでは、河口らをはじめとして数多くの作家がカオス/フラクタル/仮想生物といったコンセプトに取り組んだ [1]。また、90年代に入りインタラクティブアートが隆盛してからも、Somler [2] や銅金 [3] らによって、生物(ナマモノ)をインタラクティブシステムに組み込む実験的手法・作品が多く発表されてきた。さらに、90年代後半に石井らが周囲の環境に応じて空間をゆるやかに変容させる Ambient Media [4] を提唱し、00年代に入りその延長上の概念として、より有機的な素材を用いてインタラクティブを実現する OUI [5] の可能性が議論されるようになった。

メディアアートは、その出自においてコンピュータサイエンスや映像技術と根深く結びついており、芸術でありながらも一回性/唯一性に乏しいものである。芸術としてそれらを取り込むために、自然や生命を参照するアプローチが出てくることは、まっとうな進化であると言える。その一方で、上述のようなメディア表現において、自然は常にコンセプトという表象的な方法でしか参照されてこなかった。有機性/生命感といったコンセプトレベルでのインタラクティブを実現し得たとしても、そのほとんどがエネルギー供給を都市の電気インフラストラクチャに依存しており、コンセントに接続してはじめて稼働するものである。言い換えれば、コンセントが行き渡らない自然環境のもとでは、インタラクティブを成立させることができないという制約を抱えている。

このような背景および制約に対し、本研究における筆者らの研究目的は、“エネルギーサイクル”の観点において、メディアアートと自然を接続することで生まれる表現可能性を提案する。具体的に述べれば、自然環境からエネルギーを得ること、さらにそのエネルギーを表現の形に変換・昇華させること、そしてそれを持続的に行うサイクル自体を生むことをねらう。また、自然エネルギーと連続した表現であるためには、インタラクティブシステムが必然的に野外空間に放たれることとなる。既存の Ambient Media/OUI は屋内に自然をシミュレーションする“風景画”のような表現様式であったが、それに対して本研究の試みは自然環境で表現をエミュレートする“ランドアート”の変種として捉えることもできる。

以下、本稿ではこのような考え方を実現する試みとして、太陽光発電技術を用いて屋外空間に長期間自生するインタラクティブランドアート作品“Soltiluca”を提案・実装し、実際の自然環境に放流することを試みる。

[†]慶應義塾大学 環境情報学部

Keio University. Faculty of Environment and Information Studies.

2. 関連研究

自然発電で駆動する電子生物というコンセプトのひとつの起源として、Tilden 等によってはじめられた BEAMbots プロジェクト[6]が挙げられる。これは、主に太陽電池を用いて単純なアクチュエーションを繰り返すロボットを製作する、電子工作ホビーに於けるムーブメントである。また、そのような想像力をひとつのアートワークショップとしてパッケージした試みとして、Glissmann と Hofflin により 2004 年に立ち上げられた Electric Life Forms[7]を挙げることが出来る。これも BEAMbots と同じく、予めプログラムされた回路がシンプルな動きを繰り返すに過ぎないが、太陽光を原動力に自活しようとする姿がそのサイズ感と相まって、有機的な印象の演出に成功している。

上述の二例はどちらも電源部分でのみ自然と接続されたものであるが、アクチュエーションに於いても接続された事例として LivingWorld による風灯[8]が挙げられる。これは風鈴の形状をしており、太陽電池を電力とし、風になびくことで内部の LED が淡く点滅する屋外照明である。また、より大きな規模でエネルギー循環とアクチュエーションを結びつける事例としては、Ferry と Monoian らによって 2008 年に立ち上げられた Land Art Generator Initiative プロジェクト (以下 LAGI) [9]を挙げることが出来る。これは、太陽光や風力による自然発電施設にランドアートの感性を輸入することによって、パブリックアート化する試みである。同団体が 2010 年に初めて主催したコンペティションでは、多数のランドアートジェネレータの提案が集まった。例えば、WINDSTALK というアイデアは、55m 長のカーボンファイバーポールが風力によってしなることで発電を行い、その発電量に応じてポール先端が発光するという巨大キネティックスカルプチャである。WINDSTALK の群れが夜間に発電するイメージは、まるで光の雲が浮かんでいるような印象を残す。

本研究も、単なるエネルギー源として自然を参照するだけでなく、吸収したエネルギーがアクチュエーションとして表出されるようなシステムの提案を行うものであり、その意味で風灯や LAGI の流れのなかに位置づけることが出来る。しかし、風灯や LAGI が、その場にいれば肌で感じることで出来るエネルギーを再度別のアクチュエーションに変換するものであるのに対し、本研究で作品化を試みるのは、その場に体感可能なエネルギー自体ではなく、そのエネルギーが循環する様子である。

3. Soltiluca の提案

3.1 Soltiluca の概要

今回本研究では、上述のような自然エネルギーと連続した表現の実現に向けて、象徴的なエネルギー循環として太陽光エネルギーに着目する。これは、光エネルギーが

電気エネルギーに変換しやすいという実装上のメリットと共に、太陽光エネルギーには昼と夜というかたちで明確な拍子が存在しており、その循環自体を作品に取り入れるというねらいがある。

Soltiluca は、日中の日照変化を 12 時間ディレイして夜間にその場に再生するアンビエントタイムマシンである (図 1)。このデバイスは、日の出と同時に、ソーラーパネルの発電量を一定時間ごとにメモリに記録していく。12 時間後にモードが切り替わり、日中に記録された光エネルギーの変化の様子が LED の光としてその場にもう一度再生される。この際、駆動に必要なエネルギーの全ては、パネルで発電した電力をバッテリーに吸収することでまかなう。すなわち日照が少なくバッテリーへの充電が十分でない日は、12 時間後に LED に流れる電力も必然的に少なくなり、日照が強い日にはバッテリーへの充電にも、LED への給電にも大きな電力が与えられることとなる。

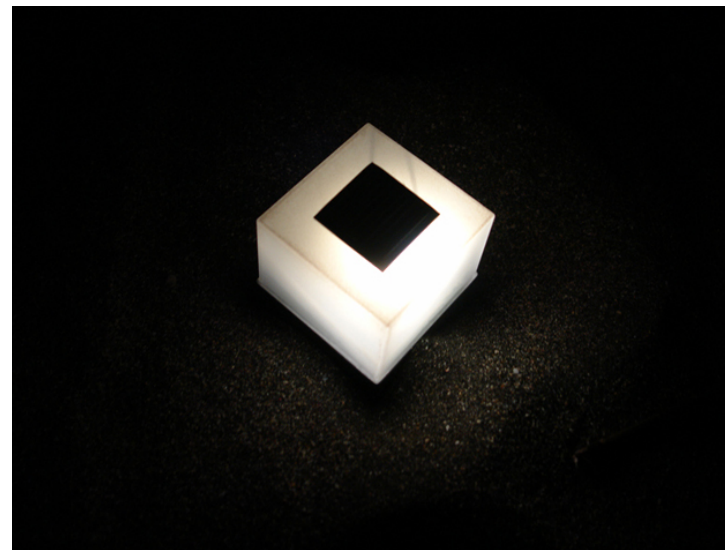


図 1 Soltiluca の外観

Figure 1 Soltiluca.

本作品では、このデバイスを量産し、屋外に並べて設置する。これにより、日の出から始まり日の入りに終わる長大なスケールでのエネルギー変化や、雲の動きや人影、あるいは木影の伸び縮みのような人間スケールでの光エネルギーの運動やコントラストが、12 時間後に再度その場に表出することになる。

Soltiluca は、あえて入出力機構と電源供給機構のあいだに境界線を設けないことに

よって、吸収したエネルギーの分だけその場を彩る持続可能性を有するインタラクシオンシステムである。また、そのような特徴の結果として、長期間にわたり周囲の環境光と連続してアクチュエーションが生成されることになり、そこに既存のメディアアートの寿命では発芽し得なかった美的価値、例えば *Soltiluca* のような価値が発生するのではないかと考える。

3.2 *Soltiluca* の設計と実装

図 2 に本システムの構成を示す。装置の回路は、ソーラーパネル、マイクロプロセッサ、バッテリー、LED、その他受動部品から構成される。本システムにおけるインタラクシオンのタイムスケールは日単位と長大であり、また屋外設置型の装置であることから、デバイス設計や部品選定には相応の工夫が必要とされる。以下に詳細を述べていく。

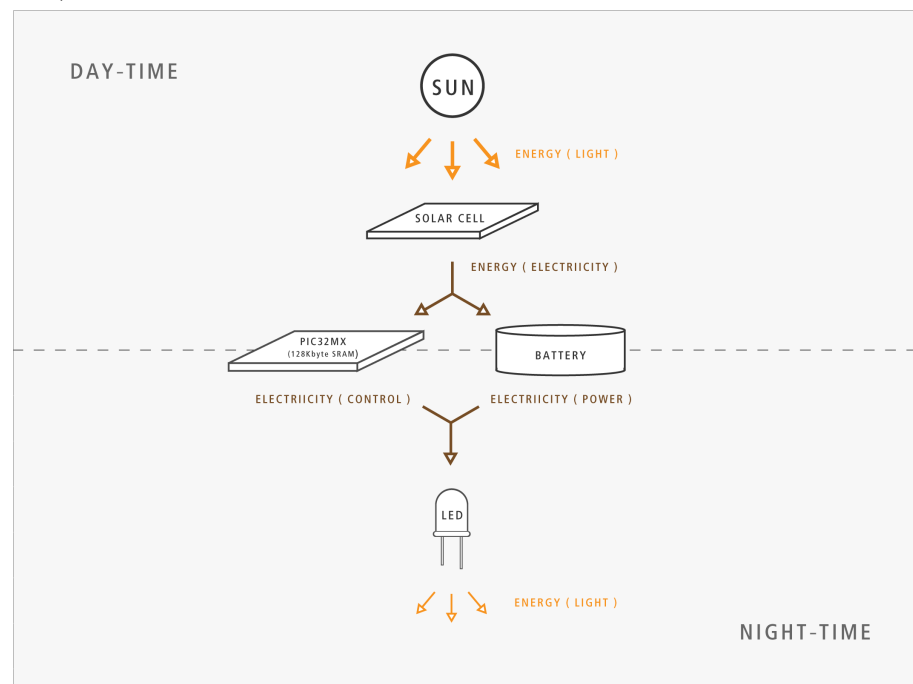


図 2 *Soltiluca* システムフロー
Figure 2 The figure of system flow in *Soltiluca*.

3.2.1 光センシングのための回路設計

まず前提となるのは安定した太陽光エネルギーのセンシングである。光をセンシングする素子は複数市販しており、一般的な用途では CdS 光導電セルやフォトダイオードが使われることが多い。しかし、CdS 光導電セルやフォトダイオードは、室内光のような比較的弱い光エネルギーの範囲では高い感度を発揮するものの、日光のような強い環境光のもとでのセンシングには不向きである。*Soltiluca* に於いては、太陽の直射日光から、日没前の薄暗がりまでの非常に広範囲の光エネルギーが直線的に測定できることが求められるため、太陽電池を光のセンシングのために用いることとした。太陽電池は一般的に電源用途に使われるものであるが、その発電電流は照度によって幅広く変化するものであり、障害物によってできた影などにも敏感な反応を示す。この発電電流をマイクロプロセッサにより一定間隔で取得することで、広いレンジでの光エネルギーの変化を連続的に記録できるようになる。また、*Soltiluca* では、光センシングのために用いる太陽電池を装置の電源供給のためにも利用できるようにするため、P チャネル MOSFET を二個使用したスイッチング回路によって、発電電流をマイクロプロセッサの A/D 変換ポートとバッテリーの充電回路に断続的に切り替えて給電を行っている。

そのような回路を通して測定した照度情報のログを、*Soltiluca* は通信を行うことなく、12 時間分蓄える必要がある。一般的な C コンパイラで扱える最小データ型 `char` (=1byte) に照度データの階調分解能を合わせたとして、1 秒に 1 回センシングを行うとしても、半日間のデータ取得モードの稼働中に 43Kbyte ものデータ記憶容量が必要となる。近年電子工作等で使われることが多い *Arduino* 等にも搭載されているスタンダードな 8 ビットマイクロコンピュータ *Atmega328-P* の SRAM が 2Kbyte であることを考えると、このデータ量は膨大である。このような大容量のデータ記憶が必要な場合、EEPROM を始めとした不揮発性メモリを使用するのが一般的な選択であるが、不揮発性メモリには書き換え可能回数が存在するため、*Soltiluca* のような頻りにデータ書き込みを行うプログラムには不向きである。これらのことから、本システムでは、最終的に大容量の SRAM を備えたマイクロプロセッサ *Microchip* 社製の 32bit マイコン PIC32MX シリーズを用いることとした。PIC32MX の中でもハイエンド製品である PIC32MX695F-512H は、はじめからチップ内に 128Kbyte の SRAM を搭載しており、今回の設計要件を十分に満たす。

今回の実装においては、照度の分解能より時間分解能を向上させることに重点を置き、最終的にはひとつの照度データの階調を 16 段階で扱うことで、一秒間に約 6 回の計測を行える仕様とした。これによって、約 6 fps で光エネルギーが再生されることとなる。時間分解能、輝度階調共にさらなる向上が期待されるが、今後実際の展示等の運用を通してその適切性を評価していきたい。

3.2.2 長期間持続可能インタラクシヨンのための回路設計

次に、一日間のサイクルで動作し続けるための設計の工夫に関して述べる。これは

1. 高効率な充放電回路を設計すること
 2. LED アクチュエーション以外の消費電力を可能なかぎり 0 に近づけること
- のふたつが要点となる。

1 に関して、まず問題となるのは蓄電部品の選択である。Soltiluca 全体の消費電力は、LED の輝度をどの程度に設定するかにもよるが、一般的な LED の定格電流である 20mA を最大として計算すると、12 時間フル点灯だったとして最低でも 240mAh の容量が必要となる。これだけの容量を安価に確保でき、かつ小型の筐体にパッケージするだけのエネルギー密度を有していることが蓄電部に求められる条件であり、それを満たすものとして最終的に選択されたのはリチウムイオンポリマー二次電池（以下 LiPo 電池）であった。充放電可能サイクルが約 500 回と製品寿命は比較的短いものの、エネルギー密度が 100-500Wh/L と非常に高く、エネルギー容量あたりの製品価格も安価であると言える。

次に、放電部に関する設計である。LiPo 電池の最大充電電圧が 4.2V、PIC32MX と LED の駆動電圧が 3.3V であるため、電池とマイクロコンピュータの間に 3.3V 出力のレギュレータ IC を設置し電圧の安定化を図った。また、LiPo 電池の放電終止電圧は約 3V であり、LiPo 電池とレギュレータを直結してしまえばは僅かではあるが充電容量を使い切れないことになる。そこで、LiPo 電池とレギュレータ IC 間に 3.3V の昇圧コンバータを挟むことによって、LiPo 電池の放電電圧が 3.3 以下になったときでも出力電圧は 3.3V を維持できる回路構成とした。

2 に関しては、PIC32MX の消費電力をどれだけ低く保てるかが重要な要素となる。PIC32MX は、MicroChip 社が提供しているマイコンシリーズの中でも最上位製品として位置づけられており、最高で 80Mhz の高速動作が可能となっている。しかし、Soltiluca で実行されるプログラムは、センシングした光量を 12 時間後に LED に流すというシンプルなものであり、クロックの高速性は求められない。むしろ、動作速度と比例して消費電力は増加していくため、今回の設計ではクロック周波数を落とし、低電力化を図る必要がある。このような理由から、筆者らはデジタル時計などに組み込まれる 32.768khz の低速水晶振動子を PIC32MX のクロック源として選択し、その結果として LED を除いた回路全体の消費電力を 1.5mA 以下に抑えることを可能にし、一日あたり約 35mAh 分のバッテリー消費で動作可能になった。

4. 実験と考察

上記のように設計・実装された Soltiluca デバイスを用いて、実際の野外環境において、日単位で Soltiluca を駆動させることで、アクチュエーションとエネルギーサイ

クルの両面からその振る舞いを確認した。

実験は、2011 年 1 月 12 日の 6:00~13 日の 18:00 までの合計 36 時間にわたり、千葉県南房総市の海岸にて行われた。本実験では、砂浜に 12 個の Soltiluca を円環状に並べ、その中央に流木を立てて日時計のイメージに仕立てることで、光と影の移ろいが直感的に確認できるようにした（図 3）。なお、今回は真冬の日照時間に合わせて約 11 時間で再生モードに切り替えることで、日没後まもなくアクチュエーションが始まるように設定した。



図 3 日時計を構成する Soltiluca 群
Figure 3 Solar clock composed by Soltilucas.

この様子を、ビデオカメラと電圧ロガーを用いて、36 時間に渡って定点観測を行った。そのデータをもとに、以下に結果と考察を示す。

まずはアクチュエーションの側面からの評価であるが、図 4 の例に示すように、昼の間の日時計の影を夜間に LED の光として再現することに成功した。図 4 では、時刻によって、流木の影の角度が変化するため、夜に再生した場合にも時刻に応じて Soltiluca の光の位置が変化しているのが見て取れる。なお、デバイス上が影となっている場所にも、実際には拡散光により多少の光エネルギーが発生するため完全な消灯

とはならないが、視認するのに十分なコントラストは再現された。今回の実装では、実際の照度データの量をそのまま夜間の光の輝度に反映させているが、表現の直感性を向上させる意味では、照度データを輝度データに変換する際に階調のレンジを移動することにより、よりコントラストを向上させる工夫にも取り組みたい。

また時間的な解像度に関しては、6fpsの動作速度のもとで、人のゆっくりとした動き程度のものであればその再現がはっきりと確認された(図5)。しかし、走り去る犬の影のような、高速で発生する光エネルギーのコントラストに関してはキャプチャしきれていなかった(図6)。Soltilucaは、今回は海岸に円形に配置したが、その配置の方法はこれだけに留まらない。また、その対象となる光エネルギーを変化させる要因も、設置環境によって多様に変化する。今後、さまざまな配置方法、配置場所でSoltilucaを稼働させ、その場所に応じた稼働時間・時間分解能の設計を行う必要がある。

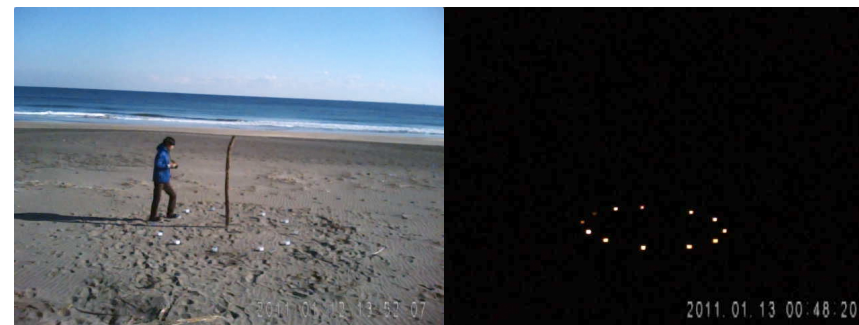


図5 人影を再生する Soltiluca

Figure 5 The figure of Soltilucas playing shadow of human.



図4 昼の間の光エネルギーの様子と、11時間後の Soltiluca の様子の比較
Figure 4 The figure comparing Soltilucas in day-light with 11hours later.

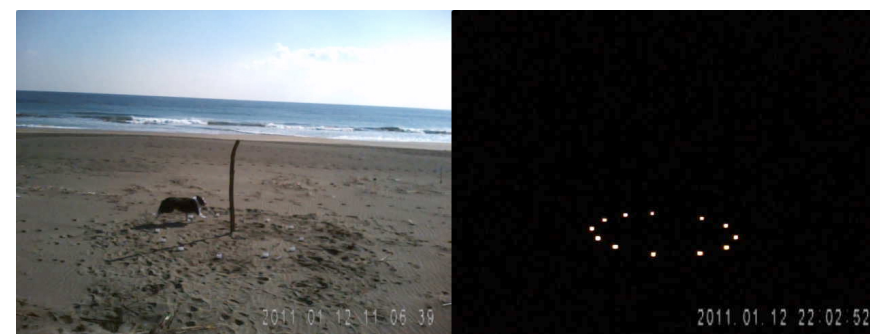


図6 犬影の再生に失敗する Soltiluca

Figure 6 The figure of Soltilucas failed to capture shadow of running dog.

次に、サステナビリティの側面からの評価を示す。バッテリーを満充電(4.15V)にした状態で12日の6時過ぎから駆動を開始した。12日の南房総の気候は曇後晴であった。日本気象協会が公開している観測記録によれば、この日の南房総市の日照時間は総計538分であり、中でもSoltilucaのパネルに直接日光が当たる午前10時から午後14時まで5時間の日照合計は300分であり、非常に多くの光エネルギーを吸収したことになる。そのため、LEDのアクチュエーションにも比較的大きな電力が必要とされたが、翌朝アクチュエーションが完了するまでにバッテリー切れを起こしたSoltilucaはなく、12個全てが翌朝まで動作し続けた。13日明朝、アクチュエーションが終了した時点でのSoltilucaのバッテリー電圧の平均は3.953Vであった。これは、

リチウムイオン電池の放電レート曲線から計算すると、全容量のうち 25%程を消費した計算になり、残容量は 75%となる。

さらに、そこから 12 時間 Soltiluca を砂浜に放置し、一日の太陽光でどこまで充電容量が回復するかを検証した。13 日の南房総の気候は晴時々曇であった。一日の日照時間の総計は 394 分であり、そのうち午前 10 時からの 5 時間の合計は 188 分であった。前日と比べ、この日の Soltiluca はあまり多くの光エネルギーを浴びていないことになるが、それでもバッテリー電圧は平均 4.07V まで上昇した。これを放電レート曲線から計算すると、全容量のうち 90%程度まで残容量が回復したこととなる。また、前日と比較して浴びた光エネルギーの量が少ないため、この日の晩の LED アクチュエーションにかかる電力も少なくなることが予想され、設計したエネルギーサイクルが機能していることを示す結果となった。

5. まとめと今後の課題

本研究は、自然環境に息吹くエネルギーサイクルを表現要素として利用する、サステナブルなメディアアートを提案するものであった。具体的なプロトタイプとして、太陽光を 12 時間ディレイする光の石、Soltiluca を設計し、その検証実験を行った。実装したデバイスの個数が未だ多くはないため、このコンセプトが持つ“ランドアート規模”での可能性は未だ実験しきれていないが、砂浜での動作実験を通して、モジュールとしての表現性と持続可能性は今後の展開を十分に感じさせる結果であったと言える。

以下今後の展望を示す。

まず、筐体に関して、今回は量産コストを重視して、市販されているアクリルケースをスプレーで薄く着色したものを用いた。しかしこれは既製品のため、基板のサイズよりも筐体が数倍大きく、やはり地面からかなり突出した形状となった。次期バージョンでは、封入用樹脂を用いて基板サイズに合わせた薄い円盤状の筐体を成形することを計画している。そうすることで、Soltiluca を撒いた状態でもその上を歩けるようなインタラクションを実現し、最終的には玉砂利のような存在感にまで仕上げたいと考えている。

また、今回は 12 個という比較的少ないデバイス群を用いて砂浜での日時計を拡張する表現を実装したが、今後上述の通り、さまざまな配置方法、配置場所で Soltiluca を動作させ、その場所に応じたヴァナキュラーなインタラクション表現のあり方を探っていく。草原のような日当たりが良く開けた場所ではピクセル状に敷き詰めることが効果的であろうし、森林地帯では木々に三次元的に Soltiluca を貼付することによってサラウンド性に富んだ表現を実現することも可能だろう。

最後にサステナビリティの側面に関して、現状は蓄電装置に LiPo 電池を用いているため、その充放電サイクルから計算して、Soltiluca を野外に置きつづけた場合の寿命は 1~2 年ほどと考えられる。しかし今後、電気二重層キャパシタのエネルギー密度が向上し、Soltiluca の蓄電装置として組み込むことが出来るようになれば、数十年単位で Soltiluca を動作させることができるようになる可能性がある。もしそのような超長期間でのサステナブルインタラクションが実現された場合、Soltiluca は周囲のエネルギーを吸収するだけでなく、そのアクチュエーションによって、植生をはじめとした周囲の自然環境に何らかの影響を及ぼしうる存在になり得ると筆者らは考える。そのような地平に於いて Soltiluca は、“自然現象のようなアート”というよりは、むしろ“アートのような自然現象”として人間に観察されるようになるのではないだろうか。

参考文献

- 1) 河口洋一郎-YOICHIRO KAWAGUCHI-
<http://individuals.iii.u-tokyo.ac.jp/~yoichiro/> (2011 年 2 月現在)
- 2) C. Sommerer, L. Mignonneau: Interactive Plant Growing, Siggraph'93 Visual Proceedings, ACM, pp.164-165 (1993)
- 3) プラントロン - yuji dogane -,
<http://wiki.livedoor.jp/dogane/d/%A5%D7%A5%E9%A5%F3%A5%C8%A5%ED%A5%F3>
- 4) Hiroshi Ishii, Brygg Ullmer: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, CHI '97 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, pp.234-241 (1997)
- 5) Organic User Interfaces, <http://www.organicui.org/> (2011 年 2 月現在)
- 6) Mark Tilden's bots, http://www.beam-online.com/Robots/Galleria_other/tilden.html (2011 年 2 月現在)
- 7) Electric Life Forms, <http://www.electronic-life-forms.com/> (2011 年 2 月現在)
- 8) 風灯: Solar | リビングワールド, <http://www.livingworld.net/works/wind-lit-solar/> (2011 年 2 月現在)
- 9) Land Art Generator Initiative, <http://www.landartgenerator.org/> (2011 年 2 月現在)