

ビアガーデンにおける 効果的なビール運搬機に関する考察

A Study on the Effective Beer-Carrier in the Beer-Garden

～ 大学院生たちの五月祭物語～

1 背景

「五月祭」というものがある。東大の本郷キャンパスで、毎年五月後半に行なわれる学園祭である。そこには通常の学園際に見られるような、様々なサークルの模擬店が多くあるのは当然だが、各学部学科の有志による専攻内容に関する展示発表等が多くあるのも特色である。有名な先生を招待しての講演会といったものもあるが、最先端の科学技術に触れることのできる展示発表も多い。

数ある理工系の学部学科の中に、工学部電子工学科という学科がある。この学科の五月祭での展示発表はどのようなものがあるのだろうか。手元にある平成六年の五月祭のパンフレットをひもといてみると、そこには「デジタル通信」「超電導」「学習ロボット」「画像処理」といった、現代エレクトロニクス技術を象徴する言葉がならんでいる。

しかし、その中に「電電でポン！」という、なんとも不可解な名称の展示発表がある。御存知でない方のために付記しておく、「電電」とは電気工学科と電子工学科をまとめて呼ぶときの名称である。最先端のエレクトロニクスを象徴する言葉が並ぶ中にある、この展示発表は一体何であろうか。紹介文を読んでみると、以下のような言葉がある。

「電電でポン！」

知的でチャーミングなウエイトレスロボットがビールを運んできてくれます。

あなたの疲れた心を、屋外で飲むおいしいビールで癒してみませんか。

(電子工学科修士二年学生有志)

なんのことはない。ビアガーデンである。

しかし、最後の部分に注目していただきたい。「修士二年学生有志」とある。五月祭の展示発表に主に与るのは、電子工学科の場合は基本的に三年生のみである。(以前は専門知識の豊富な四年生であったらしいが、学生闘争の時代に四年生は闘争のために五月祭どころではなくなったために三年生が関わり、以後三年生が与っているらしい。)ところがこの「電電でポン！」は四年生どころか、大学院に進学した学生、しかも修士論文を控えた修士課程二年の学生たちの企画のようである。彼らの企画、そして知的でチャーミングなウエイトレスロボットとはどのようなものなのであろうか。

以下は、「ビアガーデンにおける効果的なビール運搬機」をテーマに、このロボットの設計から製作を主に担当したある一人の大学院生(彼の名前は仮に「秋田純一」としておこう)から見た、このロボットの構造の紹介である。普段「とっつきにくいもの」と考えられがちなコンピュータシステムというものを、ロボットという形を通して少しでも身近に感じていただければ幸いである。

2 ビール運搬ロボットに要求される機能

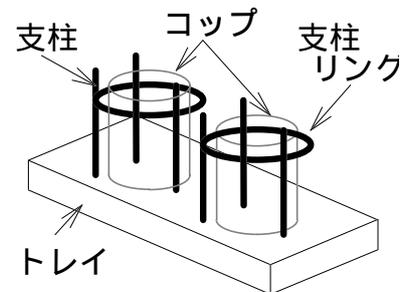
屋外ビアガーデンの状況を想像していただきたい。客の手元にビールを運ぶためには、順に以下のような機能が必要であると考えられる。

- 1) ビールの入ったコップを持ち、運ぶ先を入力するとそこへ向かう。
- 2) ビールは炭酸飲料であるので、途中ビールを運ぶ際の振動は避ける。
- 3) 運搬の途中、他の客のじゃまにならないように障害物は自動的に避ける。
- 4) 客のところに到着したら、その旨を客に知らせる。
- 5) 客がビールを受け取ったら、元の場所へ戻る。

以下、各項目について知的でチャームなウエイトレスロボット「電電くん」の設計の際に用いた手法を紹介する。(ただし以下では、ウエイトレスなのになぜ「くん」なのか、ということとは考えないことにする。)

2.1 コップの保持

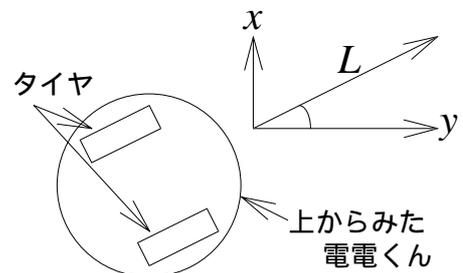
電電くんは、ビールを運搬するためにビールの入ったコップを持たなければならない。予算の関係から、使用するコップは紙コップとなることが決定していたので、これを保持することになる。しかし、コップをロボットが手で持つというのは簡単なようにみえて難しい。なぜならば、コップを握る力が強すぎるとコップがつぶれてしまい、逆に弱すぎるとコップが落ちてしまうためである。現代の技術をもってすればそのような制御は可能であるが、電電くんにそのような機能を搭載することは予算的にも無理であるので、別の保持方法として「トレイ式コップホルダー」を採用した。「トレイ式コップホルダー」と言うと聞こえはよいが、なんのととはない、お盆の上にコップを置いて運ぶだけである。ただし、コップが倒れたりしないように支柱を設ける。(右図参照)



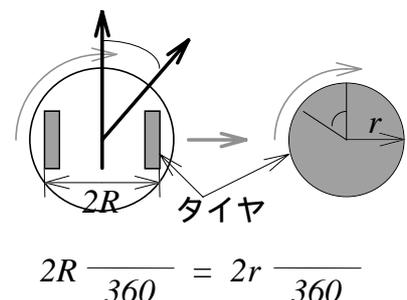
2.2 現在位置の把握

電電くんが指定された客のところへビールを運ぶためには、どこへ向かうべきかを自分で知らなくてはならない。そのためには自分の現在位置を知る必要があるが、自分で動くロボットが現在自分がいる場所を知るといことは比較的困難である。そこで、現実的な方法として以下のような方法を考える。

- a. 自動車のナビゲーションシステムとして最近脚光をあびているGPS(Global Positioning System)を利用する。すなわちGPS衛星からの電波を受信し、それから現在位置を緯度と経度で知る。
- b. 自分が進んだ向きと距離を常時計測し、それから現在位置を計算する。(右図参照)



b.の方法はいわゆる相対測定(現在位置からの移動距離で位置を知る)であるために誤差が累積しやすく、現在位置を常時知ることができるa.の方法の方が精度が高いが、電電くんがGPSを搭載することは予算的に極めて困難であるため、b.の方法を採用した。実際には方向転換のときにタイヤの回転数から自分の向きを計算し、その後直進した距離を計測する。(右図参照)



このような方法により電電くんは自分の現在位置を座標として知ることができるため、あとは目的地である客の位置を座標で指定（あるいはテーブルごとに座標をあらかじめ決めておき、そのテーブルの番号を指定）して、現在位置から目的地への最短経路を進めばよいことになる。ただし後述のように障害物がある場合は別途考慮しなければならない。

2.3 コップの振動の吸収

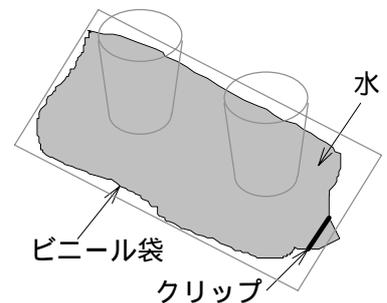
コップの中に入れるものをビールという炭酸飲料に特定しているため、運搬の途中に加振動が加わると、ビールに含まれる炭酸が次式のように分解してしまう。



この反応はビールが泡立つ原因となるため、振動はできる限り除去しなければならない。運搬中にトレイの上のビールに加わる振動には主に次の二つが考えられる。

- a. 地面の凹凸による振動。
- b. 電電くんが動きだすとき、および止まるときの振動。

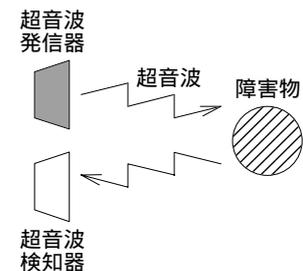
この両者を吸収するため「ウォーターショックアブソーバー」を採用した。（右図参照）といっても何も仰々しいものではなく、平たいビニール袋に密封した水の上にプラスチックの板を置き、その上に前述の「トレイ式コップホルダー」を置いただけのものである。しかしその振動吸収の効果は大きく、電電くんが比較的急な発進と停止を行った場合でも、ビールの泡立ち方を実用上問題ない程度に抑えることができた。



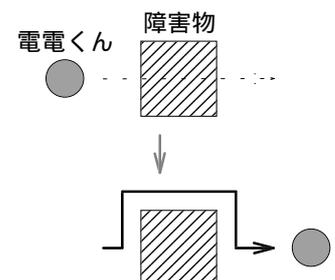
2.4 障害物の回避

前述の方法によって電電くんが自分の現在位置を把握できれば、あとはビールを持って客の待つテーブルへまっすぐ向かえばよい。しかし電電くんがビールを運ぶ状況としてピアガーデンを想定しているため、他の客やテーブルなど多くの障害物に遭遇することが充分考えられる。そこで事前に障害物を検知してそれを回避することが必要となる。（電電くんは「人にやさしく」を目標にしているので、間違っても自らぶつかっていくなどということはしてはいけない。）

まず障害物の検知の方法として「超音波障害物検知システム」を採用した。まず超音波発信器から超音波を前方に向かって発信する。前方に障害物がない場合はその超音波は帰ってこないが、障害物がある場合には反射がおこって帰ってくるため、これを超音波検知機で受信する。（右図参照）なお超音波を発信してから受信するまでの時間を測定することで、障害物までの距離を測定することもできる。



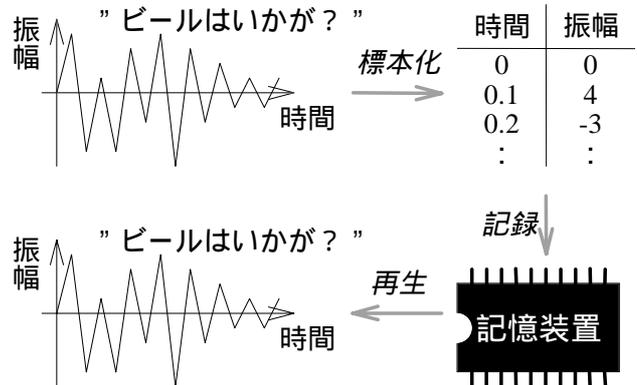
この探知器によって障害物を検知した場合、電電くんはまず警告を発する。しかしその警告音も「ブー」というような電子音では味気ないので、「人にやさしい」電電くんは「音声合成システム」を採用した。これは人の声を模擬し、あたかも「喋っている」ように模擬するものである。（詳細は後述）これにより、電電くんは障害物を検知したら「どいてください」とやさしく声をかけて進路を譲るよう促す。（いや、人にやさしい電電くんであるので、「促す」のではなく「お願いする」というべきであろう。）この方法によれば、障害物が心のやさしい人の場合は引き続き進めばよいが、心のやさしくない人、あるいはテーブルのようなものが障害物の場合には自ら回避を行わなければならない。そこで警告を発してからしばらくの間待ち、それでもその障害物が動かない場合に回避行動を行う。（右図参照）



2.5 到着後のサービス

電電くんが道中の障害物等の幾多の困難を乗り越えて目的地である客のところへ到着したら、その旨を客に知らせなければならない。ただぶっきらぼうにビールを差し出すのは何とも味気ないので、前述の「音声合成システム」をここでも流用する。

まず元となる音声を合成し、その波形を数値として記録する。そして必要なときにこれと逆の過程によってスピーカーを鳴らせることで音声合成が実現される。（右図参照）電電くんではあらかじめ八種類までの音声データを持ち、必要なものを選択できるようにした。なお元となる声は、誰かにしゃべってもらうのが一番よく、その声も、むさくるしい男性の声よりは女性の声の方が好ましいと考えられる。しかし不幸にも電子工学科で協力を選られる女性がいなかったため（もともと女性自体がほとんどいないという話もある）、近年研究が進んでいる音声合成アルゴリズムを用いて人工的に合成を行った。

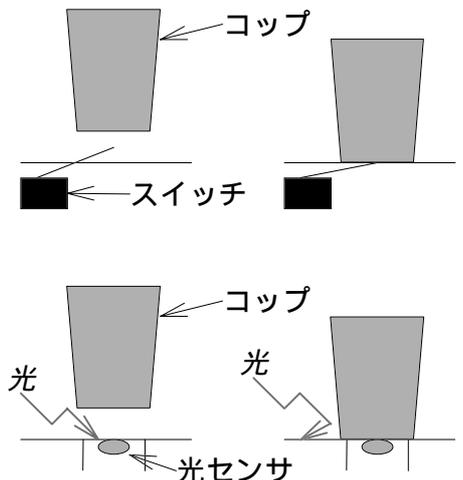


2.6 コップの検出

電電くんが前述の方法によってビールの到着を客に知らせた後は、「トレイ式コップホルダー」に置かれたビールの入ったコップをとってもらうまで待つ。コップがなくなったことを検知する方法としては、次のようなものが考えられる。

- コップの底のところにスイッチを設け、コップがあるときはその重さでスイッチが押されることでコップの有無を検知する。（右図上参照）
- コップの底のところに光センサを設け、コップがあると光が入らないことでコップの有無を検知する。（右図下参照）

a.の機械的スイッチを用いる方法の場合、コップに入っているビールの量によって重さが異なり、あまりビールの量が少ないとスイッチを押し切れないことも考えられるため、電電くんではb.の光センサを用いる方法を採用した。しかし現実問題として考えた場合、電電くんがおかれる状況であるビアガーデンは五月祭中の昼間の屋外であるため、あまり天候が良いと太陽の光が強すぎてコップを透過してしまう恐れがある。つまりコップが置かれていても光センサに光が入ってしまい、コップの有無を検知できない可能性がある。そこで光センサをコップの下と外に二つ設け、その両者の明るさの差をみることでコップの有無を検知する方法を考案したが、開発時間の関係で採用されなかった。



2.7 駆動系

以上のような種々の機能を搭載する電電くんは、かなりの重量になることが予想される。さらに計画では同時に六本の500ccビールを運ぶことになっていたため、これだけでもおよそ3kgにもなる。また電源の鉛蓄電池の重量も無視できない。（鉛の密度は11.34g/cm³と金属の中でもかなり大きく、体積あたりの重量が大きい。）

このような状況のため、電電くんには十分な駆動能力をもったモーターを搭載することが要求された。モーターには主に次のようなものがある。

- a. DCモーター。いわゆる普通のモーターであり、電流を流すと回転し、流さないと止まる。流す電流の量で回転速度を制御できる。
- b. ステッピングモーター。信号を与えるごとに一定角度だけ回転するため、信号を与える回数で回転量を制御できる。

意図した距離だけ進むという電電くんには、b.のステッピングモーターの方が適している。実際、この電電くん（コードネームは「電電くん3号」）の以前に存在した「電電くん1号」ではこのステッピングモーターを駆動系に用いている。しかし一般にステッピングモーターは駆動能力が小さいため、電電くんのような重量を動かすだけの力がない。実際「電電くん1号」は動くことができず、車輪がピクピクと痙攣するだけであった。この教訓から、制御性は犠牲になるが、大きな力を出すことができるDCモーターを採用した。幸い、東京・御徒町（「アメ横」ともいう）の玩具店で子供用の電動乗用車（株）アガツマ製の「ポルカS」、右図参照）を入手できたためこれを用いた。（いい歳の大学院生が「ポルカS」の箱を持って御徒町を歩いている姿を想像していただきたい。）しかしこの「ポルカS」は直進しかできないため、これを二台用いて左右両輪に用い、これを独立に駆動することで任意の走行を可能とした。「ポルカS」の最大運搬重量は25kgであるため、二台分で50kgもの運搬能力をもつことになり、電電くんの重量にも充分に対応できる。もちろんこれだけの荷重に耐えられるよう、本体の構造もアルミ合金材を組み合わせた頑丈なものとした。

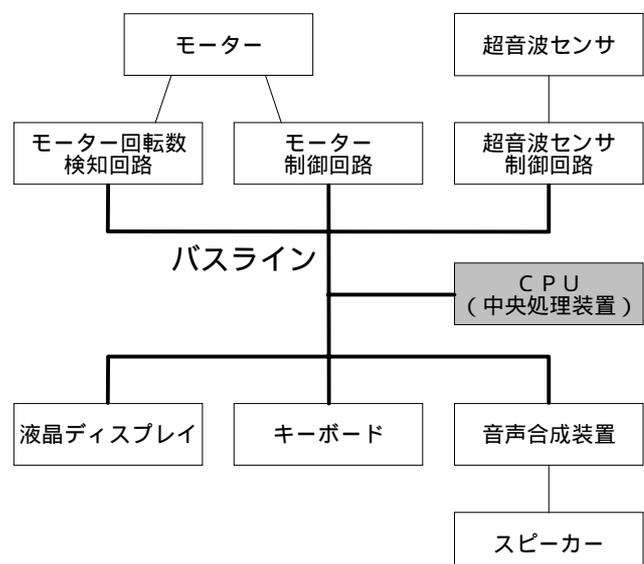


この「ポルカS」のDCモーターによって駆動能力は充分となったが、制御性に問題が残る。DCモーターの場合、電流を流せば回転するが、電流を止めた後も回転が止まるまでにしばらく惰性で回転してしまうため、意図しただけ回転して止める、ということが困難となる。しかも電電くんは、位置を移動した向きと距離から計算しているため、この精度は重大な問題となる。そこで、モーターに流す電流と流す時間、惰性を含めたタイヤの回転数（すなわち移動距離）との関係を多くの場合について測定し、それらの関係を経験則として求めて用いた。

3 電電くんのシステム構成

以上では電電くんに要求される機能およびそれを実現するための装置について見てきた。電電くんにシステムとして完成するためには、これらを総括的に管理統合する中核部分が必要となる。通常のコンピュータではCPU（Central Processing Unit; 中央処理装置）と呼ばれる装置が、周辺の各装置を統括して制御する構成をとる。電電くんでもこの構成を採用した。（右図参照）

このような構成では、CPUと周辺の各装置との信号のやりとりはすべて「バスライン」と呼ばれる太い信号線を通して行われる。バスラインにはすべての周辺装置の制御回路がつながっているため、CPUがある特定の装置（例えば音声合成装置）を制御したい場合は、まず最初にCPUが情報をやりとりする先を指名する信号をバスラインに



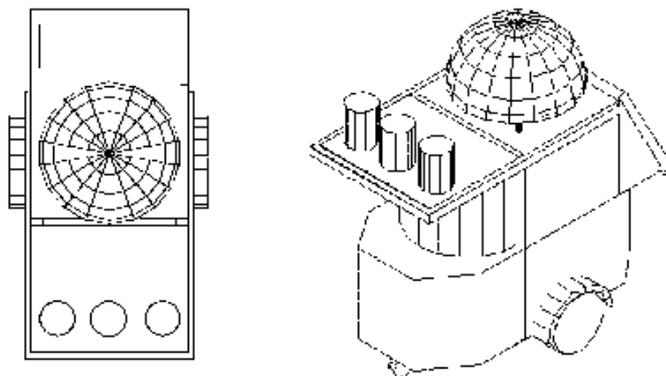
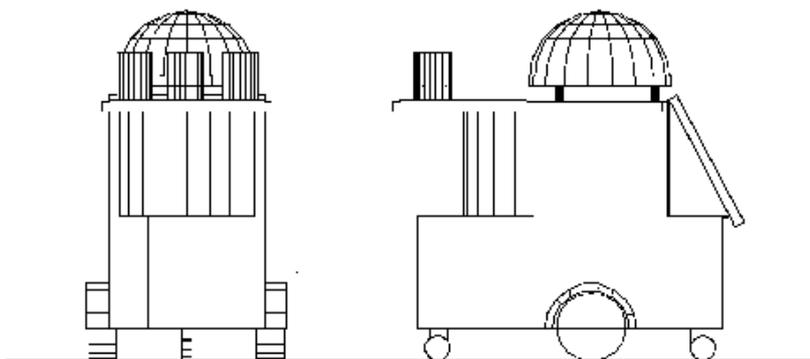
流す。各装置は、自分が指名されているかどうかを検出する機能を持ち、自分が指名されていない場合は何もしないが、自分が指名されたと判断した場合はCPUからの指示を待つ。その後はCPUがその装置のみに対して制御を行ったり情報を得たりする。このような構成をとることによって、CPUとの情報が通る信号線を一本にまとめられるため、回路構成が容易となる利点がある。

電電くんのCPUとしては当初、パソコンにも広く用いられているインテル(株)製の「Penntium」や、ワークステーションにも用いられている「Super SPARC」を用いる計画もあった。しかし予算の関係や、制御のためのプログラム開発の容易さの観点から、これらよりも処理能力はかなり劣るが、安価でC言語での開発環境が手元にあった「Z80」と呼ばれる素子を用いた。これは十年ほど前にはパソコンにも広く用いられていた実績があり、周辺の回路の設計が容易であるという長所もある。

なお制御プログラムは、通常ROM(ろむ、と読む)と呼ばれる記憶装置に格納するが、電電くんの開発は試行錯誤の繰り返しであるため、きわめて頻繁にプログラムの変更を行う必要がある。そこで従来(「電電くん1号」開発当時)は、紫外線を十五分ほど与えることで記憶内容の消去が可能なUV-EPROMと呼ばれる種類のROMを用いていたが、あまりに頻繁に書き換えるために十五分という消去時間が無視できなくなり、その後電氣的に数秒で消去書き込みが可能なフラッシュメモリと呼ばれる種類のROMを採用した。「電電くん2号」開発当時はこのフラッシュメモリは比較的高価(一個千五百円)であったが、「電電くん3号」開発時には手頃な価格(一個三百円)となったことは非常に懐にやさしく、ありがたい。

さらに電電くんの頭の部分には、太陽電池(電電くんは地球にもやさしいのである。)によって回転する「レーダー」と称する装置も取り付けられた。しかしこの「レーダー」の材料がコカコーラの空き缶であることは、開発スタッフ以外は誰も知らない。

かくして電電くんは完成した。
(右図参照)



4 電電くんの動作結果

五月祭は平成六年五月二八日と二九日の両日に本郷で開かれた。その中の「電電でポン！」は電子工学科のある「工学部三号館」前で展示発表された。

初日は非常に天気が良く、そのためコップが置いてあっても光センサが反応してしまってコップの検出が不可能となったため、制御プログラムの一部を変更することで対応した。また工学部三号館前の路面は比較的凹凸が多く、電電くんは直進しているつもりでも実際には微妙に右または左に曲がっていってしまうことが多く、直進は困難であった。（実はDCモーターの制御精度を高めてる必要はなかったわけである。）また超音波センサの発信器が発信したばかりの超音波を、障害物で反射しなくても受信器が受信してしまうことがあり、何も障害物のないところで突然電電くんが立ち止まって警告を発する、という光景が何度か見られた。また、気温の上昇によって発信器と受信器の特性が微妙に変化してしまって誤動作することも見られた。

以上のような外界の変化による予期しない影響のため、電電くんの発表展示時には多くの誤動作が見られた。また工学部三号館が本郷キャンパスの端の方に位置するという立地的な条件のためか客足伸びず、電電くんが運んだビールの量もあまり多くなかった。

しかしこの「知的でチャーミングなウエイトレスロボット」がビールをぎこちなく運ぶ姿は、多くの人に夢と感動を与えたに違いない。（右図参照）



5 結論および考察、今後の展望

なにはともかく、電電くんは動いた。思えば、我々が学部三年生のときの動かなかった「学習ロボット（別名”学習しないロボット”）」という企画が、この「電電くんプロジェクト」の始まりであった。それから丸三年、よく動いてくれた、というのが正直な感想である。

設計図の上での設計のときには予期できないような事態も多く発生し、「実際にものを動かす」ということの難しさを改めて痛感した。しかし逆に、「実際にものが動いた」という、造った者にしか味わえない感動を得たのも事実である。人間の心理としては、「動くはず」と信じて設計しても、いざ回路が完成して電源を入れるとなると、早く電源を入れて動作確認をしたい、というやる気持ちと同時に、できれば電源を入れたくない、入れて動かないところを見たくない、というジレンマに陥る。しかし、ついに覚悟を決める。目をそらしながら電源スイッチを入れる。モーターがうなりをあげて回る。ウィーン。まさに感無量である。（このときの気持ちを、こんな稚拙な表現でしか現せない自分がかっこいい。）たとえそれが予期しない動作であったとしても。様々な能力、考えをもつ人が、同一の目標に向かって動く、ということは容易なことではない。しかし、それが現実のものとなったときの力の大きさというものは計り知れないものがある。

技術的に見ると、電電くんには改良すべき点は多くある。駆動系の精度向上、障害物検知の精度向上、制御プログラムの改良、CPU能力の向上などなど。挙げればきりが無い。しかし、欲を出せばきりが無いのも事実である。

「電電くんプロジェクト」の開発スタッフの主なメンバーが修士課程を卒業して電子工学科を去った今、電電くんは本郷キャンパスの端にある、工学部三号館の五階屋根裏にある物置で、ひっそりと余生を送っている。いつかまた、ビールを運ぶ日を夢みながら。