

SunPro

2017技術書典

異世界でゼロから
コンピューターを
作る方法

hakatashi

不可能図形を
3Dプリントで
実現する

Napier_Sabre_V



オープンアクセス 2017-10-09～

SunPro 会誌 2017 技術書典

hakatashi、napier 著

まえがき

はじめまして。SunPro 会長および本誌の編集を務めている博多市 (@hakatashi) です。SunPro 会誌『SunPro 技術書典 2017』をお送りします。早いもので会誌を発行するのもこれで 4 回目……今回は前回の『SunPro 2017』から数えて約 3 ヶ月でのスピード新刊となりました。毎回このペースで発行していければよいのですが…… (笑)。

前回のイベントから、SunPro では同人誌以外のグッズの頒布も行っています。もし入稿が間に合っていれば、前回大変好評を頂いた「Unicode 巨大地図」が頒布されているはずなので、ぜひそちらもお手にとって見てみてください。

本書について

本書は、趣味プログラマー集団 SunPro のメンバーが、自分の興味あることについて書いた記事を寄せ集めて一つの本にした、「技術系よろず本」です。

それぞれの記事は独立しており、どこからでも読むことができるので、興味のある記事から読んでみてください。

SunPro について

SunPro は、2015 年 3 月に、プログラマー、エンジニア、デザイナー、グラフィッカーなど、コンピューター周辺の技術を愛好する同志が集って設立した団体で、現在 15 人のメンバー (+1 人のマスコット) を擁しています。名称の由来は Sunday Programmers、名前の通り自分がやりたいことを趣味でやる日曜プログラマーたちが集う場所です。基本的に内輪な団体なので、特にメンバー募集などはしていませんが、この会誌のような社会への発信活動は積極的に続けていきたいと考えています。

ライセンスについて

本誌には初版発行から半年間のエンバーゴ (公開猶予期間) が設定されています。この期間中は、本誌にまつわる権利を SunPro および各記事の著者が留保します。チラ見せとかならいいですが、無断で全ページアップロードとかしたりしないでください。

エンバーゴ期間終了後、本誌の全体は **CC-BY 4.0 International** のもとでライセンスされます。同時に、SunPro 公式ウェブページ上にて全内容を公開いたします。

す。その際は、以下の URL をご利用ください。

<https://sunpro.io/techbookfest2/>

エンバーゴの基準となる初版発行日時は、本書の奥付を参照してください。

謝辞

最後になりました。この場を借りてこの会誌を製作するうえで世話になった方たちへのお礼を申し上げたいと思います。

まずは、編集に関わってくれた SunPro のメンバーのみなさん。今回は前回の会誌発行から間もないこともあって、記事を書くには慌ただしすぎるスケジュールだったと思います。その代わりといっでは何ですが、書き上がった記事に対して逐一校正やレビューなどのフィードバックを与えてもらい、会誌製作の上で大きな力となってくれました。締切を守れない会長ですみません。今後ともよろしく。

次に、統合出版システム、Re:VIEW の開発者のみなさん。今回は SunPro 会誌では本文全編に Re:VIEW を使用して原稿を管理しています。この会誌が毎回電子書籍と同時に発行できているのも、Re:VIEW の存在があってこそです。感謝は尽きません。今後も開発を期待しています。

それでは、技術者集団 SunPro の 4 冊目の同人誌、SunPro メンバーの血と汗と涙の結晶です。どうぞお好きな記事からご覧ください。

目次

まえがき	i
本書について	i
SunPro について	i
ライセンスについて	i
謝辞	i
第 1 章 異世界でゼロからコンピューターを作る方法	1
1.1 はじめに	1
1.2 異世界の夜明け	2
1.3 異世界と高炉	3
1.4 異世界と蒸気機関	4
1.5 異世界と発電機	6
1.6 異世界と回路素子	8
1.7 異世界とコンピューター	9
1.8 異世界コンピューティング計画のまとめ	10
1.9 おわりに	12
1.10 読書ガイド	12
第 2 章 不可能図形を 3D プリントで実現する	15
2.1 目標の検討	15
2.2 Metasequoia	15
2.3 Inventor	17
2.4 成果物	18
2.5 今後の方針	19
第 3 章 おまけ: コラム集	21
Re:VIEW 初挑戦	21
受験の準備の準備の準備をしています	21
第 4 章 参考文献	23
編集後記	25
感想フォーム	25

第 1 章

異世界でゼロからコンピューターを作る方法

hakatashi

突然ですが、異世界にいきなり飛ばされたら、あなたは何をしますか？

世界を救う？ 世界を滅ぼす？ ヒロインと結ばれる？ どれも魅力的ですが、エンジニアないしプログラマーであるあなたにはもっと他にやることがあるはずです。

それは……そう、コンピューターを作ることです。

あなたが異世界転生して最初にすべきことは、蒸気機関を作ることなのです。

1.1 はじめに

SunPro 代表の博多市 (@hakatashi) です。

近年、といっても最近十年程度のことで、**異世界もの**と呼ばれる小説のジャンルが興隆を見せています。

「異世界もの」と呼ばれるジャンルの小説には、物語の進行に一定のパターンが存在します。即ち、現実世界とは異なる場所に存在する**異世界**の存在を仮定し、主人公がそこに転移、もしくは転生することによって物語が導入され、主人公のまったく新しい人生が新しい仲間とともに始まる……というものです。このジャンルの小説は、主に「**小説家になろう**」という小説投稿サイトで育まれたことから**なろう系小説**という名称も広く普及しており、とりわけ中高生から二十代、三十代までの若者に遍く愛され、出版化作品としても一大ジャンルを築いた現代のポピュラーカルチャーの一つです。

異世界ものの歴史は意外と古く、例えばブックオフが制作した「異世界召喚・転移・転生ファンタジーライトノベル年表^{*1}」においては、異世界ものの原点として、イザナギが黄泉の国を訪れる『古事記』や、浦島太郎の原型である浦嶋子が記述されている『日本書紀』を紹介していたりします。そこまで古くはなくとも、ある種異世界ものの典型ともいえる『ゼロの使い魔』が 2004 年、さらに遡って初期ライトノベルで人気を博した『異次元騎士カズマシリーズ』が 1988 年と、遡ろうと思えばい

くらでも遡れてしまうのがこのジャンルの特徴です。

さて、そんな異世界ものですが、筆者としては一つ不満点があります。それは、現代の必須アイテムでありプログラマーの武器であるところの、**コンピューター**がほとんど登場しないことです。

もちろん、物語の中の一要素としてコンピューターが登場する作品は数多く存在します。例えば、元の世界から持ち込んだスマートフォンが物語の重要アイテムとして登場する『**異世界はスマートフォンとともに。**』や、ゲーム会社で働くプログラマーが主人公の『**デスマーチからはじまる異世界狂想曲**』など、著名なものでもいくつかの作品が挙げられます。しかし、どれもコンピューターやプログラミングを物語の主体に置いているとはいえず、どちらかという、すでに存在するコンピューターをチート的に利用して物語に彩りを与えているに過ぎません。

このように異世界にコンピューターが現れない理由は簡単で、これらの作品に登場する異世界のほとんどが、地球で言うところの「中世ヨーロッパ」をベースにした世界だからです。現代世界から異世界に転移した主人公が忌憚なく活躍するためか、はたまた魔法や魔術が登場するファンタジーの設定と違和感なく調和させるためか、「異世界」の文明水準は総じて低く、奴隷制度・石造建築・封建社会といった中世風の設定が多く見られます。このような世界観においてはコンピューターどころか電気すら発見されていない可能性が高く、ゆえに、プログラミングやエンジニアリングの登場する余地はない……というのが一般的な見解でしょう。

しかし、考えてみてください。

この記事の読者であるあなた——多くがなんらかのプログラマーかエンジニアであることを想定しています——が、突然異世界に転生したと仮定します^{*2}。そして着の身着のままコンピューターどころか電気もない不毛の大地に立たされ、プログラミングのできない窮地に立たされたとします。あなたのすべきことは何でしょ

^{*1} http://www.bookoffonline.co.jp/files/lnovel/pickup/pickup_isekai-history.html

うか？

そう、**コンピューターを作ること**です。

異世界だろうとなんだらうと関係ありません。我々がすべきことは常にエンジニアリングです。地球の人類にできたことが異世界の技術でできないはずがありません。コンピューターがなければ、作ってしまえばいいのです。世界を同じ物理法則が支配する限り、技術はあらゆる場所で再現可能です。

これは、すべてのプログラマーとエンジニアに送る、異世界転生のための必読書です。

1.2 異世界の夜明け

目標設定

この記事の目標は、技術水準の低い異世界で、ゼロからコンピューターを作りあげることです。

これを考える上で今回行う仮定は、こんな感じです。ある日突然現代日本から異世界に転移、ないし転生した人間が、魔王を倒したりとか、世界を救ったりとか、ヒロインを助けたりとか、そういうどうでもいい事には目もくれず、ただただ最短でコンピューターを作ることに全力を尽くしたらどうなるか……というものです。

転生する前の主人公は、**高校生のアニオタ**でも **29 歳プログラマー**でも **34 歳無職**でも、この際なんでも構いませんが、異世界においてはお約束通り、青年の男性の健全な肉体を持って生まれ変わるものとします。

また、異世界転生においては多くの場合何らかのチートの能力を与えられる作品も多いですが、その手の設定は考え始めるとキリがないので、その手のチート能力に関しては考えないことにします。甘えは捨てましょう。苦境には身一つで戦うものです。

そして、転生先の異世界には魔法が存在します。

当然です。魔法の存在しない異世界は異世界じゃありません。しかし、多くの異世界ファンタジーでそうであるように、この魔法という存在は、場合によっては話のカギとなりうる、非常に重大な要素の一つです。かの有名なアーサー・C・クラークの言葉、「十分に発達した科学技術は魔法と区別がつかない」というのとは少し違いますが、中世風の世界観に持ち込まれた魔法という概念はある種オーバーテクノロジーのようなものであり、今回のコンピューター製作をブーストさせる可能性が大いにあります。

また、魔法が使えるのが当然の世界観においては、主人公も何らかの努力で初歩的な魔法を習得できる可能性が高いでしょう。魔法を厳密に定義するのは難しいで

すが、ここでは物理的な整合性は意図的に無視して、人間の意志によって超常的な物理現象を発生しうるシステム……ということにしておきます。

「コンピューター」とは？

転生の最終目標はコンピューターですが、コンピューターと一口にいってもさまざまなシステムが考えられます。人類史において「計算機」を最初に発明したのはパスカルであると伝えられており [1]、彼の発明した計算機は、ダイヤルを回すとそれに噛み合った歯車が桁を回すという単純なものでした。その程度のものであれば中世初期程度の技術で容易に再現可能なため、あまりインパクトがありません。

そこで、今回我々が目標とするコンピューターについて、いくつかの要件をまとめておきます。この記事で扱う「コンピューター」とは……

1. 入出力可能なこと
2. 加減乗除などの基本的な演算が容易に可能なこと
3. プログラム可能なこと
4. 主として機械的な動力で動作し、演算は人力によらず行えること
5. チューリングマシンと同等な計算能力を持つこと

……の 5 つの条件を満たす装置とします。

第一の「入出力可能なこと」は特に問題ないでしょう。さすがに入出力ができない装置をコンピューターとは呼べないと思います。

第二の「加減乗除などの基本的な演算が容易に可能なこと」も概ね問題ないと思います。あとに述べる「チューリング可能」だけが要件だと、ライフゲームやセルオートマトンのシミュレーターも該当してしましますが、それらを「コンピューター」として提出するのは何か違います。コンピューターの重要な目的の一つは計算なので、基本的な計算はもっと直感的にできるものとします。

第三の「プログラム可能なこと」は重要な要件です。我々が今回わざわざ異世界でコンピューターを作る目的は、曲がりなりにもプログラミングなので、電卓のような計算するだけの機械は、「計算機」ではありますが「コンピューター」とは呼ばないものとします。

第四に、「主として機械的な動力で動作」することを挙げました。マシンパワーに頼らなくてよいのなら紙と鉛筆も十分コンピューターです。ペンシルパズルは楽しいですがムーアの法則が適用されないので却下とします。

最後に、「チューリングマシンと同等な計算能力を持つこと³」という条件を置きました。少しややこしいですが、ループや条件分岐など、現代のプログラミング言語に備えられている機能を有していればこの条件は満たされます。逆に、上から下に流れるだけの手順式のプロ

² 転移は何らかのきっかけがないと難しいですが、転生は多くの場合トラックに轢かれて死亡すればいいだけなので簡単です。誰か別の人をかばいながらだとなお良いでしょう。

グラムでは条件は満たせません。やはり作るなら、プログラミングの醍醐味が味わえるものでないと意味がありませんからね。

世界設定

「1.1 はじめに」で紹介したとおり、異世界ものにおける「異世界」は、ほとんどが地球における中世ヨーロッパのような世界観を持っていると言われています。この部分についてももう少し詳しく定義していきます。

「中世ヨーロッパ」とは？

異世界の世界観を考える上で厄介なのは、何よりも「中世ヨーロッパ」という単語の曖昧さです。

西洋史において**中世**とは、概ね封建制度が社会の基盤となっていた時代を指し、西ローマ帝国皇帝が退位した**西暦 476 年**から、百年戦争が終結した**西暦 1453 年**までと定義されることが多いです [2]。つまり中世とは江戸時代のおよそ四倍にもなる千年間にわたって続いた「時代」であり、当然、初期と終期では技術水準が全く異なります。

また、異世界ファンタジーに登場する社会制度の多くは、絶対君主制・学校制度・常備軍といった特徴がみられ、中世と言いながらどちらかというところと近世や近代のものに近いことが知られています。

一方で異世界の科学技術については一般的に低い傾向にあり、とりわけ銃器や大砲などの近代の武器が登場する機会はほとんどありません。この原因を魔法技術の発展に求めることもできますが、いずれにせよ異世界というのはこういったちぐはぐな世界観が入り混じってできたキメラであり、地球で言うところのどこそこ、というようなパターン化はとても難しいです。

以上を踏まえて本記事では、異世界の技術レベルを、概ね地球の**中世盛期のヨーロッパ**の平均的な水準に定めつつも、細かい内容については、代表的な異世界ものの物語の設定を参照しながら考えていきたいと思います。実際問題、あなたが転生することになる異世界がどのようなものかはわかりませんし、重要なのは状況に応じて柔軟に計画できるような知識を蓄えておくことです。

1.3 異世界と高炉

異世界でコンピューターを作るためには、なによりもまず材料が必要です。我々が製作しようとしているコン

ピューターがおそらく電気によって制御されることを考慮すると、異世界コンピューター第一号の構成部品のほとんどが、銅や鉄を主とする金属類であることは疑いないでしょう。また、コンピューター部品の製造には、大型の工場と工作機械を必要とし、それらの製造にも大量の鉄が用いられることが予想されます。鉄を確保することは異世界でコンピューターを作るための最初の一歩です。

異世界で加工しやすい鉄が大量に入手できるかどうかは、転生先の異世界の製鉄技術の程度、とりわけ**高炉**が発明されているかどうかにかかっています。

ヨーロッパにおいて、高炉はおもに 15 世紀から 16 世紀にかけて普及した技術です。異世界の技術水準を中世盛期のヨーロッパと定めるならば、高炉のような技術は出現していないと考えるのが普通でしょう。実際、多くの異世界ものでは「鋼鉄の鎧」「鋼鉄の槍」などの**鋼鉄**を用いたアイテムが登場しますが、精錬に高炉を必要とする**鑄鉄**や**鉄鉄**はめったに登場しません。

作品によっては、魔法技術の一環として「鍛冶スキル」なる能力を設定しているものもあります。例えば「小説家になろう」版『この素晴らしい世界に祝福を』の第二部では、この「鍛冶スキル」を用いてオイルライターを製造する、というイベントが存在するのですが⁴、肝心のその製造過程を見てみると……。

小さな金槌を使い、鍛冶スキルで薄い鉄板を伸ばしていく。

そして形を整えてから暖炉の前の火を使い、それを鍛冶スキルで綺麗に溶接。

俺が朝から暖炉の前でせっせとジッポ作っているそんな様子を、暖炉の前に斜めに置いたソファーに陣取り、アクアがじっと眺めていた。

なんと、**ライターの部品を金槌でせっせと鍛造しています**。これはまさしく中世初期に見られる鍛冶職人の仕事そのものであり、歯車のような精密部品を鑄造するのに必要な冶金術が整っていなかった時代のものです。金槌だけでライターを製造するのはさぞかし大変なことでしょう。

高炉の原理

というわけで、ライター製作を楽にするためにも、一刻も早く異世界に高炉の技術を持ち込みましょう。高炉は、水車などの動力を用いることにより飛躍的な発展を遂げた、製鉄用の**溶鉱炉**の一種です。いまでも多くの製鉄所には大型の高炉が設置されていますが、現代に至るまでその基本的な構造は変わっていません。

³ 実は、これがもっとも解釈の難しい条件です。「チューリングマシンと同等な計算能力」、即ち**チューリング完全**とは計算能力の指標の一つであり、今ではコンピューターの定義とされることも多い概念ですが、厳密にチューリング完全の条件を満たすマシンはこの世に存在しません。これはチューリングマシンの条件を満たすには無限の記憶が必要になるからですが、ここでは一般的に行われているように、「現実的な範囲内で」チューリング完全なものをそう呼ぼうと思います。

⁴ ちなみに、文庫版では単に「内職」となっています。

高炉は、名前の通り十分な高さのある炉です。これに**鉄鉱石**と**炭**を交互に投入し、炉の下部からこれを熱します。この際、水車などの動力を用いて大量の空気を送風することによって、炉の温度を高めるとともに、還元されて鉄鉱石から鉄となった炉材を浸炭させ、炭素を4%ほど含む**銹鉄**へと反応させます [4]。

鉄というものは、含有する炭素の量によって性質が大きく変わる金属です。炭素を全く含まない**純鉄**は、融点が1500度と非常に高く、通常の製鉄では得られません。炭素を添加することによって融点が下がり、飽和状態になる**銹鉄**では1200度程度で溶けるようになります。この性質と、大量の酸素を送り込む高温還元を用いて、液体の状態で溶鉄を取り出せるようにしたのが、高炉のメカニズムの基本です。

それ以前の時代の製鉄において、鉄とは原則として固体の状態で精製されるものでした [3]。そのため鉄を取り出すたびに炉を破壊する必要があり、生産効率は非常に低かったとされています。高炉の登場によって鉄の生産性が大幅に向上すると同時に、**二段階製鉄**という製鉄の新たな手法が生まれ、その中間生成物として銹鉄が得られるようになりました。今回のコンピューター製作において、銅に次いで二番目に重要な金属です。

次に掲げる蒸気機関の設計にも、計算機に用いられる精密な歯車の製造にも、鑄造に適した鉄材料が必要不可欠です。銹鉄は炭素を大量に含むため硬く脆く、大規模な構造物の建材には向きませんが、融点が低く接合性が高いことから、逆に複雑な形状の部品を鑄るのには最適の材料です。

高炉の動力

現代の高炉がそうであるように、高炉の動力は、高い送風力が得られる燃料装置によるものが望ましいです。今回の挑戦では蒸気機関が最もそれに近いのですが……その蒸気機関を製造するのには高炉から生まれる銹鉄が必要不可欠なので、これは完全にニワトリとタマゴです。よって、最初の高炉の動力は蒸気機関ではありえません。

蒸気機関が発明される以前のヨーロッパにおける動力と言えば、水力、風力、畜力（特に馬力）あたりが中心です。このうち風力は高い出力が得られず、馬力は維持費も導入費もかさむため、今回のように移動させる必要がなく、比較的どこにでも建設可能な高炉においては、**水力**を利用するのが良いでしょう。これも、ヨーロッパの製鉄の歴史をそのままなぞる形となります。

高炉の立地

高炉の立地には非常に気を使う必要があります。第一に、水力を利用することから高低差の激しい河川部、それも、できればダムのように堰き止められる場所を選び

ましょう。水車といえば穏やかに流れる川に足をつけ、ゆったりと回る観覧車のようなものを想像する人も多いでしょうが、そのような旧式の下がけ水車よりも、水圧によって高速で噴射される水の運動エネルギーを利用するほうが効率がよいことが現代では知られています。もっとも、高炉にそこまでのパワーは必要としないので、水利のよい異世界ならば適当な河川のそばに建造することも可能です。

第二に、鉄鉱石と石灰、さらに還元剤かつ燃料として使用するコークスの原料である石炭の産出地からなるべく近い所を選びます。鉄鉱石や石灰はそれ以前の製鉄でも用いられるものなので、異世界でも容易に入手できるでしょう。問題は石炭です。単に燃料として見るならば木炭のほうが優秀なので、異世界に石炭が流通していない可能性は大いにありえます。乾留してコークスにするのも手間なので、場合によってはコークスの代わりに木炭を用いなければいけないかもしれません。

その他、高炉の建築材料の調達、炉から発生する煙による公害、そもそも私有できる土地であるかななどを考慮する必要があるでしょう。これらの条件を総合して、高炉の建造に適した立地を、転生した異世界に依拠して柔軟に決定しましょう。例えば、実際に異世界に高炉を建設する様子が描かれている『**エルフ転生からのチート建国記**』という作品の第二章では、特に炭鉱との距離と公害の影響を勘案して、「商業都市エリンの郊外」に高炉を建設しています。

高炉と魔法技術

転生先の異世界の魔法技術によっては、水力よりも効率的に高炉を稼働する方法が存在する可能性があります。今回の高炉に必要なのは、動力そのものではなく炉の温度を上昇させるための送風装置なので、例えば風系の魔法で炉に直接送風するというのは悪くない発想でしょう。炎系の魔法で直接炉を加熱するという形態も考えられますが、アニメなどで見られる炎系魔法の多くが赤い色の炎を吹き出すことを考慮するに、高炉の稼働に必要な1200℃以上の温度が得られるかどうかについては、かなり懐疑的です。

1.4 異世界と蒸気機関

高炉の建造は、全てがうまくいけば数ヶ月程度で終了するでしょう。高炉が完成したら、次は水力や風力よりも近代的な動力である蒸気機関を建造しましょう。異世界に産業革命を起こすのです。

蒸気機関の原理

よく知られているとおり、**蒸気機関**は、地球においては18世紀のイギリスで発明された、熱機関を用いた世界

初の実用的な動力であり、その後のイギリス産業革命のきっかけにもなった、まさしく**世界を変える発明**でした。

蒸気機関の動作原理は簡単で、水が熱されて蒸気に変化するときの膨張と、冷却され水に戻るときの収縮を、**ピストン**を用いた一連の機構により往復動に変換する、というものです。

まず、**ボイラー**と呼ばれる、圧力鍋のような装置に水を入れ、石炭などの燃料で加熱します。ボイラーの蒸気孔は、巨大な注射器のような**シリンダー**につながっており、蒸気の圧力がシリンダーのピストンを持ち上げます。この時の運動エネルギーを動力として利用するのです。現代の熱力学的視点から見ると、これは熱交換により熱エネルギーを運動エネルギーに変換する装置であり、**カルノーサイクル**を実現するための最も単純な機構でもあります。

しかしながら、現実にはこの装置を実現することは、そう容易いことではありません。蒸気機関の発明には、セイヴァリ、ニューコメン、ワットなど複数の人物が連鎖的に関与したことが知られていますが、それぞれにそれぞれのブレイクスルーがあり、蒸気機関の実用性はみるみる向上していきました。特にジェームズ・ワットが発明した**分離凝縮器**を付けた蒸気機関（以後分離凝縮器機関と書く）と**クランク**の功績はめざましく、蒸気機関それ自体にも大きな革命をもたらしました。

地球の歴史でこの後登場する**内燃機関**や**電気機関**に対して蒸気機関が優れているのは、何よりも燃料が自由に選べる点です。これは、電気もガスも石油も入手が困難であろう異世界においては非常に重要なことであり、木炭・石炭などはもちろん、ボイラーを加熱できるあらゆる魔法の応用を視野に入れることができます。

ワットの分離凝縮器機関

それでは、実際に異世界で蒸気機関を作るとしたら、どのような形になるのでしょうか。これは転生先の異世界によって様々なバリエーションが考えられますが、基本的には**ワットの分離凝縮器機関**あたりを参考にするのがよいと思われます。

ワット以前にニューコメンが発明した、実用上広く用いられた初めての蒸気機関は、またの名を**大気圧機関**と呼びます。大気圧機関ではまず、加熱したボイラーから噴出する蒸気をシリンダーに注入し、蒸気の圧力でピストンを持ち上げます。ピストンが規定の位置まで持ち上がったら、揺動する**ビーム**が噴射ポンプのピンを引き、水槽からシリンダー内部に冷却水が噴出します。これによりシリンダー内部に充満した蒸気が冷却されて一気に凝縮し、シリンダー内の圧力が下がります。あとは大気圧との気圧差がピストンを押し下げるので、これを繰り返すことにより往復運動が行われます。

「蒸気の蒸発と凝縮を用いて熱エネルギーを運動エネルギーに変換する」という蒸気機関の基本原則を愚直に実装した、非常に素朴でまっとうな機構ですが、これには大きな問題がありました。それは、**ピストンが往復するシリンダー部を、何度も加熱したり冷却したりしなければならない点です**。理想的には、凝縮時に蒸気だけをうまく冷却すればこの部分で熱損失は生じませんが、現実には、シリンダーやピストンも同時に冷却され、熱を失ってしまいます。これは非常に効率が悪いばかりか、真鍮でできたピストンやシリンダーが熱により伸縮するため、空気漏れの原因になったり、耐久性を下げる原因になったりします [5]。

ニューコメンの発明からおよそ 50 年後、**ジェームズ・ワット**は非常に単純なアイデアでこれを解決しました。ワットが発明した**分離凝縮器機関**のブレイクスルーは、注入された蒸気を凝縮するための凝縮器を、シリンダーから分離して**分離凝縮器**とした点です。シリンダーから直結したこの凝縮器は、常に水に浸けられ低音に保たれています。シリンダー内が蒸気で満たされたとき、凝縮器につながる弁を開くと同時に凝縮器内に冷水のジェットを吹き込むと、シリンダー内の蒸気は勢い良く凝縮器へと流れ、その中で水へと凝縮します。こうして、シリンダー内を高温に保ったまま蒸気を凝縮することが可能となり、蒸気機関の効率は一気に数倍に上昇しました。凝縮器を分離するというこの発想は、現代でも**復水器**として受け継がれており、発電所を支える重要な施設の一つとなっています。

ワットの功績はこの他にも、蒸気機関の往復運動を回転運動に変換する**クランク**の実用化など、枚挙に暇がありませんが、異世界において我々が最も必要とするであろう機構は、やはりこの分離凝縮器でしょう。この後**トレビシック**により高圧蒸気機関が発明されてからも、定置型の蒸気機関としては変わらずこの仕組みが使われ続けました。これが今日ワットが「蒸気機関の父」と呼ばれ、「蒸気機関の発展にもよおした根本的な影響において、ジェームズ・ワットほど大きな寄与をしたものはいない」[5]とまで言わしめる原因であります。異世界で蒸気機関を作る際にも、きっとこの知識が役に立つでしょう。

異世界と特許

異世界にやって来た時に、特許制度が存在するかどうかは重要なチェックポイントの一つです。一般に異世界もので特許が登場する機会は少ないですが、例えば GC ノベルズから発刊されている『異世界転移したのでチートを生かして魔法剣士やることにする』には、前述のコークスを使用した製鉄に対して特許を取得するシーンが登場します。

「カエデさんですね、技術については少し前に話が来ていましたが特許型の契約をお望みとのことで。特許料は利益の5割ほどでいいですか？」

(中略)

「はぁ…… 5割というのは安めなんですかね？」

「ちょっとこういうことには疎くて」

「ええ、私も特許契約など初めてですし詳しい契約内容は商業ギルドの人にも仲介に入ってもらって決めることになりましたが大体特許料は利益の7~5割程度が相場かと思います、これほど大きい物を独占するとなると……」

「そういうものなのか……」

「これは技術が保護されているということか？」

「この世界の文化レベルにしてはできすぎている気がしないでもない。」

「まあどこの世界にも天才とかそういった類いの人間はいるのだろう。案外この文明レベルも魔道具が便利すぎるせいだったりして。」

「利益の7~5割程度」の特許料は確かに高めですが、特許が金になるのは本当です。実際、ワットが契約者に請求した特許利用料は、**新型蒸気機関によって節約された燃料費の3分の1**と定められていました [5]。彼は秀才ある実業家**マシュー・ボルトン**の手を借りて、特許料取得の仕組みを制度化し、莫大な富を手に入れます。

今後コンピューターを製造する工程において、莫大な予算が必要となってくるでしょう。異世界に特許制度があった場合、またボルトンのような秀才あふれるパートナーと出会うことができた場合は、蒸気機関ないし高炉の発明の特許化し、一度蓄財に力を入れることをオススメします。

異世界に特許制度がない場合、この部分で大きく苦勞することになるでしょう。もっとも地球において特許制度が確立したのは近世に入ってからなので、上の引用でも言及されているとおり、異世界の文明水準では特許制度が存在しない確率のほうが高いです。その場合、異世界によく登場する、職人ギルドや商人ギルドの専売権を利用してうまくやりくりするしかありません。

注意点

以下、異世界で実際に蒸気機関を操業する際に気をつけておくべきポイントを挙げていきます。

溶存空気にご注意

ボイラーで煮沸する水には、純粋な水だけでなく微量の空気や不純物も溶存しています。これをそのまま加熱し煮沸すると、蒸気だけではなく空気も一緒にシリンダーに注入され、少しずつ内部に蓄積されていきます。これをそのまま放置すると、凝縮時に溶け残る空気の

割合が少しずつ増えていき、蒸気機関の動作効率が悪くなって、やがて止まってしまいます [5]。

これは**ウィンド・ロッキング** (wind-logging) と呼ばれる現象 [5] で、ニューコメンが蒸気機関を実用化する際に立ち上がった壁の一つでした。当時の科学ではこの現象を解明できなかったため、ニューコメンはこの壁を乗り越えるのに多くの試行錯誤を繰り返しましたが、これを解決するのは簡単で、**シリンダー内の蒸気が凝縮した後に、数秒間シリンダーに蒸気を空流すればよいのです**。こうすることによって、蒸気とともに溶存していた空気が排出され、蒸気機関は止まることなく稼働し続けます。異世界で蒸気機関を操業する際には、必ずこれを覚えておきましょう。

パッキングにご注意

蒸気機関の中で最も精密な部品は、ロッドに接続され各部の弁を制御する**ピン**でも、凝縮器内に冷水を吹き込む**噴射ジェット**でもなく、実は、機関の心臓部である**シリンダーとピストン**です。

ピストンとシリンダーの隙間が蒸気を漏らさず、また摩擦なくスムーズに往復するために、シリンダーは非常に正確な円筒形である必要があります。ニューコメンの時代では、銃器の製造によって精密な円筒形を作る技術はある程度知られていましたが、蒸気機関で用いられるシリンダーの内径は大きいもので2メートルに及ぶため、スケールがまるで違います。

そのため、シリンダー製造の際にはなるべく正確な円筒形になるよう細心の注意を払う必要があります⁵。しかしやはり手工業によるには製造では限界があるため、どうしてもピストンがシリンダーにぴったり嵌まるということはないでしょう。そこで、この2つの隙間を埋める**パッキング**が必要になります。

パッキングは、蒸気機関が生まれた瞬間から現代に至るまで技術者を悩ませ続ける問題です。ニューコメンは、ピストンに革のベルトを巻き付け、その上に水を張るという方法で、ワットは、麻に牛脂を染み込ませたパッキングを、内側からリングで押し込むという方法でこれを解決しています。革も麻も牛脂も、異世界では難なく手に入るでしょうから、いろいろ試してみて、これらの中から最も適した方法を選びましょう。

1.5 異世界と発電機

蒸気機関の発明から半世紀後、産業革命真っ只中のイギリスに、**チャールズ・バベッジ**という数学者がいました。

バベッジは若くしてロンドン王立協会のメンバーとな

⁵ ニューコメンの時代には、鑄造した真鍮の円筒の内面を、砂を用いて一生懸命磨き上げた……とあります。

った数学の天才でしたが、あるとき⁶歯車とレバーで動く機械式計算機のアイデアを得たことから、それ以降の人生を彼の思い描いた機械式計算機の設計に捧げるようになります。現世界の彼は残念ながら絢爛なりし灰燼世界^{ディメンション・オブ・スチーム}を発動できたりしませんが、バベッジの発想は時代を一回りも二回りも先取りしていました。彼の設計した**解析機関**には、現代のコンピューターに必要な、演算装置、メモリ、レジスタなどが含まれ、完成すれば世界初のプログラム可能な計算機となるはずでした。歯車とレバーでできているのにもかかわらず、です。

しかし、この解析機関は、時代を先取りしすぎていたがために、精密な部品や機構を大量に必要とし、バベッジの時代の技術や資金ではとても実現できるものではありませんでした。そのため、現代には彼の残した設計図だけが残されています。現在、これらの設計図からバベッジの思い描いた解析機関を復元する、**Plan 28** というプロジェクトが進行中ですが、完成には 10 年程度かかる見込みです。

今回の異世界コンピューター計画でも、当初、バベッジの流れを汲んだ機械式計算機を異世界で組み立てることを検討していましたが、現代技術を用いても 10 年かかる代物を、異世界で現実的な時間内に組み立てられるとは思いません⁷。彼の着想はあらゆる意味で早すぎたのです。異世界で解析機関を組み立てることは諦めました。

ところで、バベッジは、**マイケル・ファラデー**や**ジェームズ・マクスウェル**など、後に**電磁気学**として知られる学問の基礎を作り上げた科学者たちと親交があったことが知られています。しかし、彼らが研究していた**電気**という代物が、後にバベッジの夢見た計算機の時代をもたらそうとは、当時としては誰ひとりとして想像していませんでした。

そう、現代のコンピューターには**電気**が必要不可欠です。頭書に記したような条件を満たすような計算機を実現する手段はいくつか考えられますが、異世界で最も現実的に再現可能なものは、やはり**電気式計算機**ということで落ち着きました。

異世界と電気

電磁気学は前述の通り 19 世紀に発達した学問なので、普通に考えると中世ヨーロッパ風の世界でこれらが研究されている可能性は極めて低いでしょう。しかし、それがいわゆる「異世界」であれば話は別です。

異世界には魔法があり、多くの場合「炎」「水」「氷」といった属性によるジャンル分けがなされています。その

中でも特にメジャーな属性に**雷属性**が存在します。雷属性の魔法というのは要するにドラクエで言うところの**ベギラマ**であり、雷に似た放電現象を引き起こす魔法の総称……といった扱いを受ける場合がほとんどです。

雷属性の魔法が広く浸透している異世界ならば、危険な嵐揚げをするまでもなく、雷の正体が電気現象であることはすぐに調べがつくでしょう。となると、そこからさらに進んだ電磁気の研究がなされていても不思議ではありません。

たとえ雷魔法が存在する世界でも、電動機や電球などの簡易な電力機器さえ発明されていれば、電気を継続的に供給する装置への需要は高いはずです。ちょうど地球において、臼を挽くだけなら人の手で足りるにもかかわらず、効率化や自動化のために水車や風車による挽臼が普及していったのと同じような感じです。

なので、異世界において何らかの形で発電機が発明されている可能性は高いと思われます。それが人力なのか水力なのか風力なのか、はたまた魔石とかそういう系のファンタスティックなエネルギーなのかはわかりませんが、電磁気学の研究さえ進んでいけば、小学生でも工作できる発電機の発明を妨げるものは何一つありません。それどころか、質の高い導線さえ発見されていれば、大規模な電力システムがすでに構築されている可能性すらあります。

いくら魔法と言えど、結局は人間が介在しなければならないという限りにおいては、まったく科学を置き換えるに足るものではありません。人の手を介さないエネルギー供給、そして社会と一体化したエネルギー循環システムを構築できて初めて、科学を超えたといえるのです。この点において、我々は異世界において魔法ではなく科学が発展している可能性を大いに考慮するべきです。これは、異世界で電気式計算機を作るべき第 2 の理由でもあります。

しかし残念なことに、それほど大規模なエネルギーシステムが整った異世界には未だにお目にかかったことがありません。これは水道や道路と同じように、いかに十分な技術があろうと、インフラとして整えられるにはそれに見合った社会制度が必要とされるということなのかもしれません。

発電機の作り方

というわけで、我々は異世界に電気が普及していなかった可能性を考えて、発電機を一から組み上げる方法を習得しておく必要があります。

……といっても、先ほども述べたとおり、発電機に必要な機構はそう大したものではありません。後に製作する電気式計算機に必要なのが直流電源であること、また効率の良い整流器も得難いことから、必要とされるのは

⁶ 1812 年ごろ

⁷ しかも、この計算機はプログラミング可能ですが、ジャンプなどの命令を持たないためチューリング完全ではありません。

オルタネーターや**誘導発電機**ではなく大型の**直流ダイナモ**であり、その意味でも、(これ以前のものに比べると)非常にハードルの低い壁だと思われます。

ダイナモとは、運動エネルギーを電力に変換する発電機の中でも、特に初期に完成したものであり、**電磁石**と**磁石**と**整流子**を用いて直流電源を得るものの総称です。ちょうど、小学校の工作でよく作る**整流子電動機**を、逆に動作させたものだと思えばよいでしょう。この形式の発電機は、地球ではすぐに**交流発電機**に置き換えられて姿を消しますが、19世紀末から20世紀初頭にかけては広く用いられた形式でした。

ゼノブ・グラムが発明した、世界で初めて商用に実用化された発電機は、**多極式**の**他励電磁発電機**でした [6]。つまり、単純に N 極と S 極の 2 つの方向を向いた二極を持つコイルを磁界の中で回転させるのではなく、5 つから 6 つ程度の複数の方向を向いた極を持つコイルを利用するものです。二極では回転に応じて出力が変動し扱いづらい出力電流が、これにより平滑化され、安定した高出力の直流電流を得ることができます。この機構は、発明者の名前を取って**グラム発電機**と呼ばれています。

グラム発電機は、当時すでに広く普及していた蒸気機関と接続され、**200 ボルト**の直流電流を供したとされます [7]。異世界で発電機を作る際も、基本的にはこの形式を模して作ればよいでしょう。余裕があれば、同時代にジーメンスやホイートストンが発明した**自動式発電機**を実装することもできます。動力は先ほど製作した蒸気機関を使用してもいいですし、場所によっては水力ないし風力が適しているかもしれません。ただ、異世界の水車や風車など高が知れているので、高出力を得るためにはおそらく蒸気機関を利用する必要があるでしょう。

ちなみに、発電機に必要なコイルを製作するには、**絶縁電線**が必要ですが、19世紀当時の科学者は主に銅線に絹布を巻きつけたものを使用していました [8]。ゴムで被覆した電線が登場するのは20世紀に入ってからです [9][10]。異世界でゴムまで製造している暇はないと思うので、特に問題なければ同じように布の被覆で済ませるのがよいと思われます。

1.6 異世界と回路素子

さて、いよいよもって目的のコンピューターに近づいてきました。このあたりで一度、コンピューターを作る時に必要なものについて考えておきましょう。

レッドストーンにならって

話は少し変わりますが、マインクラフトというゲームに興味がある方は、**レッドストーン回路**というものを聞いたことがある人も多いと思われます。マインクラフトは、仮想的な3次元空間の中で、建物を立てたり、狩猟

をしたり、採掘をしたりと自由に生活するゲームで、空間内を区切るブロックと言う単位で物を配置したり合成したりすることができます。その中でも**レッドストーン**と呼ばれるブロックは、他のいくつかのブロックと組み合わせることで回路のようなものを作ることができ、応用すると複雑な計算やプログラミングまでできることが知られています。これはまさしくコンピューターそのものと言っていいでしょう。

では、コンピューターを製作できるレッドストーンの機能とはどのようなものなのでしょう？ レッドストーン回路の主要部分は、**レッドストーン**と**レッドストーン****トーチ**という部品で構成されています。

レッドストーンは電気回路で言うところの導線の役割を果たしており、ON と OFF の 2 つの状態をワイヤーのように伝達することができます。また、2 つのレッドストーンワイヤーを合流させれば、入力された 2 つの信号のどちらかに反応するような回路（論理回路でいう OR 回路）を組むことができます。

レッドストーントーチは火の付いたトーチであり、通常 ON 状態を持つ、レッドストーンの信号源です。そして重要な特徴として、**ON 状態のレッドストーンにトーチを接続すると、逆に火が消えます**。つまり、トーチを経由してレッドストーンを接続することで、ON と OFF を逆転させる回路（論理回路でいう NOT 回路）を組むことができます。

なんと、レッドストーンの持つ演算機能はこれだけです。デジタル回路の知識を持った方ならすぐにピンときたでしょうが、NOT 素子と OR 素子があれば NAND 素子を構成することができるため、それを使って他のあらゆる論理回路を組み立てることができてしまいます。それこそ電卓から我々が使っているコンピューターに至るまで、全てです。

レッドストーンによる回路設計を可能にしたのは、何よりもトーチの存在が大きいです。レッドストーントーチの、入力信号を反転させて別の導線に伝えるという機能、もっと一般化して言うと、**ある信号が別の信号の ON/OFF を制御することができるという特徴**によって、コンピューターを作ることが可能になったのです。

コンピューターを作るのに必要なのは、突き詰めて言うところの機能を持つ部品です。現代のコンピューターでは、**トランジスタ**がこの機能を担っています。トランジスタには**バイポーラトランジスタ**や**電界効果トランジスタ**など多くの種類が存在しますが、いずれも原料に**半導体**を使用して作られています。

異世界において、この半導体を製造するのは至難の業です。なにせ半導体の製造には、**純度 99.999999999%**という超高純度シリコンの精製が必要であり、異世界で

作り始めると何十年かかるかわかりません。膨大な設備と資産が必要となることは想像に難くないでしょう。

それでは、我々は何を使ってコンピューターを作るべきでしょうか。我々がコンピューターを作るのに必要なのは、「ある信号が別の信号の ON/OFF を制御することができる装置」です。実は、このような機能を持つ装置は、地球でもトランジスタの発見に先駆けて 100 年以上も前に発見されていました。それが、**リレー**という装置です。

異世界とリレー

リレーは、**継電器**とも呼ばれる電子部品の一つであり、小さな入力電流で大きな電流を制御するための部品です。

リレーの仕組みは非常に単純です。リレーの入力部には小さな電磁石が接続されており、この部分に電気が流れることで磁力が発生します。この磁力で、出力部に繋がるスイッチを物理的に開閉します。そのため、リレーが動作する時にはスイッチが切り替わる「カチッ」という音が鳴ります。

リレーは 1835 年に**ジョセフ・ヘンリー**によって発明された、歴史ある電子部品ですが、現代でも意外と多くの電子機器に使用されています。例えば、車のウインカーが点滅している時に鳴る「カチッカチッ」という音は、実はわざと鳴らしているのではなく、車体に組み込まれた車載リレーが作動している音です。

このように、現代では主に回路の開閉や保護など、ちょっとした制御に用いられるリレーですが、この部品は先ほど挙げた、コンピューターに必要な「ある信号が別の信号の ON/OFF を制御することができる」という要件を満たしています。つまり、**リレーだけを使ってコンピューターを構成することができます**。リレーは先ほども述べたとおり非常に単純な仕組みで動作し、必要な部品も、鉄心、巻線、スイッチといった基本的なものばかりです。細かな調整は必要でしょうが、これなら異世界でもなんとか製造が可能でしょう。

鉄心の材料には、透磁率が高い**ケイ素鋼**が望ましいのですが、シリコンを用いるため、トランジスタの製造が難しいのと同様の理由で、これを得るのは難しいと思われます⁸。通常の錬鉄や鉄鉄でまかないましょう。

その他の細かい材料は、鋳鉄などを用いて鋳造すればよいでしょう。ここでもやはり高炉の存在が役に立ってきます。

1.7 異世界とコンピューター

リレーを使えば**理論上**コンピューターを作ることができることがわかりました。では、現実にリレーでコンピューターを作るにはどれほどの手間が必要なのでしょう。

そもそも、トランジスタの代わりにリレーを使ってコンピューターを作るというのは、なにも夢物語ではありません。今では多くが忘れ去られてしまいましたが、地球でもかつてリレーを使ったコンピューターが作られていました。

Zuse Z3

「世界初のコンピューター」の一つ⁹である **Zuse Z3** は、リレー式のコンピューターでした。

コンピューター草創期に生まれた計算機といえば、回路素子に**真空管**を利用した **ENIAC** が有名ですが、リレーを使用した **Z3** はそれよりも 5 年早く、1941 年に完成していました。

Z3 の製作者である**コンラッド・ツェー**は、第二次大戦中のドイツを生きた技術者でした。彼は自動計算機のアイデアを独力で思いついてから、チャールズ・バベッジと同じ純機械式計算機を設計し、自宅の居間に完成させました。これが **Zuse Z1** です。

Z1 はやはりバベッジの解析機関と同じように（複雑さは段違いですが）独立した演算部とメモリを持ち、外部からプログラム可能な汎用計算機でした。惜しむらくは、やはり 3 万個におよぶ複雑な機械部品を正確に噛み合わせることで自体に無理があり、ほとんど正常に動作しなかった点です。その後、ツェーの関心は機械式計算機からリレーを使用した電気式計算機へと移行し、演算部分をリレーに置き換えた **Zuse Z2** を経て、完全にリレーで動作する **Z3** を作り上げました。

Z3 には、演算部に 600 個、メモリ部に 1400 個、**計約 2000 個**のリレーが使われています [11]。異世界で製造するにはかなり頭が痛くなる量ですが、実を言うと、**Z3** は我々の定義に合致するコンピューターではありません。**Z3** は分かりやすい入出力装置を持ち、電卓のように使えるほか、映画フィルムを加工したパンチカードからプログラムを読み込むことが可能ですが [12]、分岐命令を備えていないため、普通に使うとチューリング完全な機械ではありません¹⁰。

⁹ 世界初のコンピューターというのは定義が難しく多くの議論を呼びますが、**Z3** は「世界初の動作可能でプログラム可能な自動計算機」と定義されます。

¹⁰ 「普通に使うと」と言うのは、実は **Z3** の完成から 50 年以上経った 1998 年に、特殊な方法で **Z3** でチューリングマシンを実装する方法が示され、チューリング完全であることが証明されてしまったためです。しかしいずれにせよ **Z3** でプログラミングするのは厳しいので、チューリング不完全として扱うこと

⁸ トランジスタほどの純度は必要ないのですが、電気精製を用いる方法は大量の電力を消費するため不可能です。また、二酸化ケイ素とマグネシウムを反応させてケイ素を得るという方法もありますが、量産は難しいでしょう。

その後のリレー式コンピューター

Z3 が完成してからトランジスタが普及するまでのわずかな間、リレーは真空管と並んで多くのコンピューターの回路素子として使われました。例えば、ベル研究所の Model I、II、III、IBM の Harvard Mark I、II、国内ではカシオの 14-A や富士通の FACOM 128A、128B などがリレー式コンピューターとして知られていますが、実は、これらの多くはチューリング完全ではありません [13]。即ち、条件分岐やジャンプといった命令を持ちませんでした。

これは、当時のコンピューターが完全な万能計算機として動作する必要がなく、特定用途の計算に使えば十分だったためなのですが、我々が求めるコンピューターの要求は満足にプログラミングできることなので、特定用途の計算だけでは物足りません。やはり最低限チューリング完全であることは押さえないといけません。

その後トランジスタの登場により時代はシリコン全盛期を迎え、商用計算機としてリレー式コンピューターが製造されることはなくなりました。しかし、現代でも物好きな有志によってリレー式コンピューターが製作されることがあります。

趣味で製作されたそんなコンピューターの中には、技術的に興味深いものはいくつもあります。その中でも特に注目したいのは、「チューリング完全な世界最小のリレー式コンピューター」を自称する **TIM-8**¹¹です。

TIM-8 は **Rory Mangles** らによって製作された 8 ビットの **ハーバード・アーキテクチャ**のコンピューターであり、5 つのレジスタと 8 つの命令セットと 12 バイトのメインメモリ、そしてディップスイッチで実装された 16 バイトの ROM を持っています。これはノイマン型でないことを除けば現代のコンピューターとほぼ同じ構成で、条件分岐やループといった命令も有しています。この機械を用いた操作は十分プログラミングと呼んで差し支えないでしょう。

使用したリレー数は、なんとわずか **152 個**と記録されています。TIM-8 はメモリ部分に **DRAM** を採用しているため Z3 と単純に比較することはできませんが、これは Z3 が演算部に使用した 600 個のリレーと比べても確実に効率化されているといえるのではないのでしょうか。

異世界では DRAM として使用できるほど信頼性の高い **コンデンサ**は入手し難いと思われるので、メモリには依然リレーを使用する必要があると思われます。しかし、TIM-8 の結果から類推するに、チューリング完全なマシンとして動作可能なコンピューターを作るのに必要

なリレーの数は、うまく作ればせいぜい **300 個から 500 個程度**で済むのではないかと推測されます。リレーを 1 個 1 個手作りしなければならないことを考えると大変な量ですが、時間をかければ決して不可能な数ではないはずです。

1.8 異世界コンピューティング計画のまとめ

ようやく、異世界でゼロからコンピューターを作るための計画の全貌が明かされました。ここで、異世界にやってきてからコンピューターが完成するまでの流れを、必要な時間の見積もりとともに簡単に振り返ってみましょう。

1. [1 年] 転生先、ないし転移先の異世界について詳しく調査する。パートナーを探す。秘められた才能がある場合は開花しておく。
2. [2 年] 高炉建設に必要な建材や鋼材を入手する。傭兵稼業などを大いに活用すること。有効な魔法があれば習得しておく。
3. [3 年] 高炉の立地に適した場所を探し、高炉を建設する。同時に蒸気機関について小型の実験を行い動作を確かめる。
4. [3 年] 蒸気機関を建設する。商業化を視野に入れて製造プロセスを確立する。同時に高炉と蒸気機関の権利売却を行い、銅線や鉄材の調達を行う。
5. [2 年] 蒸気機関とダイナモを用いた発電設備を製造する。並行してリレーの製造を行う。
6. [3 年] リレーを用いて実験を繰り返し行い、動作可能なコンピューターを設計する。設計したコンピューターを組み立てる。

このような感じになりました。計画に遅滞なく完璧に進んだ場合、しめて **14 年**かかる見積もりです。つまり、この記事を読んだあなたが、なんの脈絡もなく突然異世界に飛ばされたとしても、14 年あればコンピューターでプログラミングできるようになるということです。異世界も捨てたもんじゃありませんね！

時間の見積もりに関しては完全に推測の域を出ないので信頼できる数字ではありませんが、大雑把なスケール感については概ね正しいのではないのでしょうか。現実の歴史においてコンピューターが登場するまで、中世から数えて優に 500 年以上はかかったことを考えると、かなりスピーディーに進行しているように感じられます。

さて、今回は異世界でコンピューターを作るために、リレーを用いた道のりを示しましたが、もちろんこの他にもコンピューターを作るにはいくつかのルートが考えられます。今回の記事を書く上で検討した他の道を参考までに挙げていきます。

にします。

¹¹ TIM Relay Computer <http://www.northdownfarm.co.uk/rory/tim/tim-8.htm>

真空管

リレーとともにコンピューター黎明期を支えた立役者、**真空管**を使うというアイデアは、大いにありえました。

真空管は、電球のような見た目の電子部品であり、内部の真空を流れる電子流によって、電流を増幅したり整流したりすることができます。リレーやトランジスタと同じ特性を持つため、コンピューターの基本素子として利用することができます。

内部を真空にした電気装置という点で、真空管は白熱電球と製造方法がほぼ同じであり、製造技術としては19世紀半ばにはすでに完成していました。異世界でも比較的容易に製造できる可能性はあるでしょう。

ただ、当時の真空ポンプに使用されていた水銀が、異世界でも容易に入手できるかは若干不安です。また、真空管を使用した **ENIAC** が5名以上で開発に2年半かかったのに対して、リレーを使用した **Zuse Z3** が、(**Z1**、**Z2** で実験済みであったとはいえ) 1人の力で1年半で完成したという違いが気になります。真空管もリレーも論理素子として見れば、ほとんど互いに交換可能な部品ですが、質の悪い真空管は故障しやすく、**ENIAC** では平均して1日に3本の真空管が壊れていたといえます。そういうわけで、コスト的に考えても真空管よりリレーが優れているのではないかと考えました。

トランジスタ

本編では「トランジスタは質の高い高純度シリコンの精製が必要であるため難しい」と述べましたが、異世界におけるトランジスタの製造は、全く不可能というわけではありません。

マグネシウムを何らかの方法で入手するか、大電力の発電設備とアーク炉を整えることによって、「化学的に」純粋なシリコンを製造することは、まあまあ可能です。しかし、そこから「電子工学的に」純粋なシリコンを精製することは、かなり困難を極めます。

シリコンの精製法として比較的古くから知られているものに、**チョクラルスキー法**が存在します。これは溶融したシリコンを注入した坩堝に種結晶を浸け、結晶を育てながら、ゆっくりと回転させて引き上げるといったものです。言うのは簡単ですがこの製法には適切な温度管理とクリーンルーム級の空気清浄が必要であり、量産するどころか、僅かな量を製造するのすら難しいでしょう。

ちなみに**ジョン・チョクラルスキー**がこの方法を発見したのは、ペンにインクを付ける際に、誤ってインク壺ではなく溶解した錫の容器にペンを突っ込んだのが原因だと言われています。実はこのうっかりミスは電子工学の歴史における単一障害点であり、このミスがなければ電子工学の発展が何年遅れたかわからないとも言われています。

異世界の魔法を用いてチョクラルスキー法の問題をクリアする、ということを夢想することもできます。例えば、絶妙な温度管理には炎系の魔法を、クリーンルーム級の空気清浄には風系の魔法を、引き上げられたシリコンインゴットへのドーピングには土系の魔法を……などと考え始めると、かなり夢が広がります。が、それだとあまりに魔法に頼りすぎるので最初からこの方法を検討することはやめておいたほうがいいでしょう。もしあなたに転生先で多くの魔道士と知り合うだけの人望があり、そのうえ少年漫画的な展開をお望みなら試してみるのもいいかもしれません。あなたのコンピューター計画に少年漫画のようなオチが付くことは保証しませんが。

量子コンピューター

量子コンピューターは、リレーやトランジスタのような素子とは全く異なる動作原理で動くコンピューターです。そもそも現時点で研究が完成してない上に、ナノレベルの金属加工が必要になるため現実的ではないでしょう。

DNA コンピューター

DNA コンピューターは、DNA に対する酵素などの生体反応を利用して計算を行うコンピューターです。こちらも現時点で研究が完成してない上に、遺伝子の読み出し・書き込みには膨大な設備が必要になるため現実的ではないでしょう。

流体コンピューター

大穴といえるかなんといえるか、一見無謀に見えて意外と現実的に考慮可能なのが**流体コンピューター**です。

流体コンピューターは、電気信号の代わりに、空気や水などの流体を用いたコンピューターです。トランジスタと同様の機能を持つ素子も1960年代にはすでに完成しているので、電気式コンピューターとほぼ同じ原理を用いてコンピューター組み立てることができます。

実際、そのような原理を用いて実用化された流体コンピューターもいくつか存在します。異世界でこれを作ろうと思ったらそもそも電気が必要なくなるので、発電機もリレーも必要なくなります。そういう意味では意外と異世界向きのコンピューターなのかもしれません。

しかし、流体コンピューターで用いられる流体素子の研究はトランジスタほど進歩していないため、さまざまな不都合が考えられます。さらに、流体コンピューターは実のところデジタルコンピューターよりもアナログコンピューターのほうが適しているようで、実際に実用化された流体コンピューターの一つである **MONIAC** も、経済活動を流量を用いてアナログ的にモデル化したものだったそうです。

1.9 おわりに

「異世界に転生したら科学技術で無双できるのでは？」
「古代にタイムスリップしたら現代の知識でやりたい放題できるのでは？」というのは、誰もが一度は考えたことがあることだと思います。実際、「小説家になろう」や関連サイトでは、そのような趣旨の小説が、「技術チート」というジャンルで多く投稿されています。

しかし、少しシリアスに考え始めると、そのような挑戦がいかに無謀であるかがわかります。なにせ異世界ときたら、明かりを灯そうにも電球はなく、プラスチックを作ろうにも油田はなく、現代兵器を作ろうにも特殊鋼はなく、そして、プログラミングをしようにも当然コンピューターなんてない世界なのです。

肝心の現代知識を活かすための基盤が圧倒的に足りないのです。逆に捉えると、現代社会がいかに多くの技術基盤の上に成り立っているかということを痛感させられます。

この記事は、現代を支えるそんな技術基盤について、少しでも多く知りたいという思いから始まりました。技術チートの定番といえば「銃」「火薬」「蒸気機関」あたりですが、実際問題、これらの詳細な製造方法について詳しく知っている現代人がはたしてどれほどいるのでしょうか？ そもそもそれ以前に、中世の冶金術について、建築技術について、紡績技術について、どれほど知っているか？ と考え始めると、我々は技術チートどころか、異世界を生き抜くことすら難しいことがわかります。

我々が今立っている場所にかつて何があったのか、どんな技術が流行り、廃れ、枯れていき、そして現代の技術の礎となったのかを知ることは、決して意味のないことではないと信じています。異世界ものを題材に、というかなり怪しいテーマで書き上げましたが、僕にとってもそうであったように、この記事がそんな「前時代の」技術について、少しでも知るきっかけになれば……と思います。

それでは、またどこかのイベントでお会いしましょう。博多市でした。

1.10 読書ガイド

今回の記事を書く上で、多くの先哲の書を抜き、知識の源として大いに活用させていただきました。

ここではそんな本の中でも、特にオススメできるものを紹介したいと思います。

月夜涙『エルフ転生からのチート建国記』(モンスター文庫)

この記事のために、多くの異世界ものの漫画や小説を読み、異世界についての見聞を深めましたが、「科学文明の

遅れた異世界で現代の技術の一つずつ再現していく」という今回の趣旨に最も強く合致したのが、この本でした。

何度も転生を繰り返した魔術師の魂を宿したエルフが、幼馴染の少女シリルとともに、帝国に搾取される小さな村を救い、理想の国を作り上げていく話です。絶望に抗い続ける主人公と、しっかりとした技術知識に基づいた物語が素敵でした。

主人公が物語序盤で作る上げるクロスボウは、鋼鉄でできたリムに木の土台、そして鉄のボルト^{*12}と、中世後期に出現した金属製のクロスボウをそのまま模したような武器なのですが、弦の部分だけ魔術で作ったカーボンファイバーが使われていたりして、おちゃめなロマンがあります。

「小説家になろう」で現在も公開中、文庫版は5巻完結です。

藍月要『俺たちは異世界に行ったらまず真っ先に物理法則を確認する』(ファミ通文庫)

こちらも異世界もののラノベ、おおむねタイトル通りの内容です。ロボコンの本番1週間前に泊りがけで調整をしていた高専のロボコンチームが、メンバーまるごと異世界に飛ばされてしまう、という話です。

こちらも異世界と技術の融和を図ったという点で、とても親近感を覚える意欲作です。理系、特にエンジニア特有のあるあるネタが多く含まれており、そういった職業に近しい人が読むと非常に楽しめる作品になっています。

ちなみに、高専出身の若干名の知り合いとこの作品について談義を交わしたところ、少なからず一致した意見は「高専にあんなタイプの女の子はいない」でした。

J・ギース／F・ギース著 栗原泉訳『大聖堂・製鉄・水車』(講談社学術文庫)

中世ヨーロッパの科学技術について多くの文献をあたりましたが、そのものズバリ中世の技術について詳しく書いてあった書籍は、ほとんどこれだけでした。

文庫本ですが、中世初期から後期に至るまでの技術の進歩の流れと、各技術分野ごとの詳細な情報が綺麗にまとまっており、非常に満足度の高い一冊です。(この記事と違って)図版が多いこともおすすめポイントの一つです。

ピエール・リシェ著 岩村清太訳『中世の生活文化誌』(東洋館出版社)

図書館で出会った古い本ですが、とても役に立ちました。中世の中でも、カロリング朝ルネサンスの時期にフォー

^{*12} クロスボウで用いられる矢のこと

カスを当てて、文化や制度を詳述した本です。通読するのは向いていませんが、中世の風俗について知りたいときに辞書のように使うことができます。

ブルース・コリアー著 須田康子訳『チャールズ・バベッジ コンピュータ時代の開拓者』(大月書店)

非常に数少ない、チャールズ・バベッジの伝記です。

今回の記事ではバベッジについてあまり詳しく述べませんでしたが、彼が設計した装置は、やはり時代を100年先取りした代物であり、バベッジの考え方や生き方がよく表れた彼の「作品」でした。「コンピューターの父」と高らかに称せられる一方で、ブラックボックスとされがちな階差機関や解析機関について、ちゃんと知りたい方にオススメです。

N.Maeda 「マイ・プロジェクトX 『リレー式電卓』」

記事中で、「物好きな有志によって現代でもリレー式コンピューターが製作されることがある」と述べましたが、そんな中でも特に精力的に作られているのがこの「リレー式電卓」です。

これは電卓なので厳密にはここでいうコンピューターとは違いますが、計算装置としてしっかりと動作しており、製作者の熱い情熱が感じられる魂の装置です。

Web で詳細な製作レポートが公開されている^{*13}ので、ぜひ読んでみてください。数式を入力するとリレーのカチャカチャという音が響き、結果が7セグに表示される様子は感動モノです。

^{*13} <http://madlabo.oops.jp/MAD/relay/relay.htm>

第 2 章

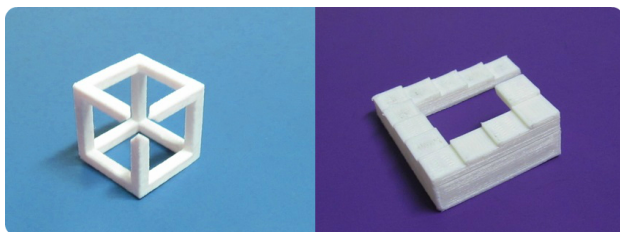
不可能図形を 3D プリントで実現する

Napier_Sabre_V

初めまして、SunPro の 3D 担当ねいびあさぶれ (@Napier_Sabre_V) です。今までの出展イベントではマスコット D 言語くんと Gopher、それにくっつける小物を作ることに終始しており、こうした記事を書くことはなかったのですが、毎回そういうマスコットを増やしていくにも限界があるだろうということで、もっと一般的な立体を作ってその製作過程を記事にすることとなりました。加えて、コミックマーケット 89 および 91 で配布していた 3D プリント外注に関するレポートペーパーもこの記事の後ろに掲載してあります。

2.1 目標の検討

今回のテーマは不可能図形のうちの「ネッカーの立方体」です。しかしそれだけでは新規性に大いに疑問がありますね。Thingiverse などにも不可能図形の先例がいくつもあります。



これらの作品 [14][15] を見てみると、立体の一部を途切れさせたうえで、途切れたところを背後に溶け込ませる手法によって繋がっているかのように見せていることに気が付きます。また、繋がっていても



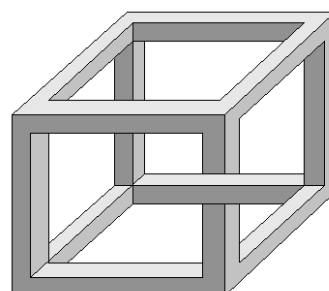
このような形状 [16] は Inventor では面倒なので (作れはするようですが) 作りたくありません。そこでこのような条件を課すこととします。

- 立体の一部を途切れさせず、単一の立体によって錯視を実現すること
- ただし曲面による強引な繋げ方をしないこと

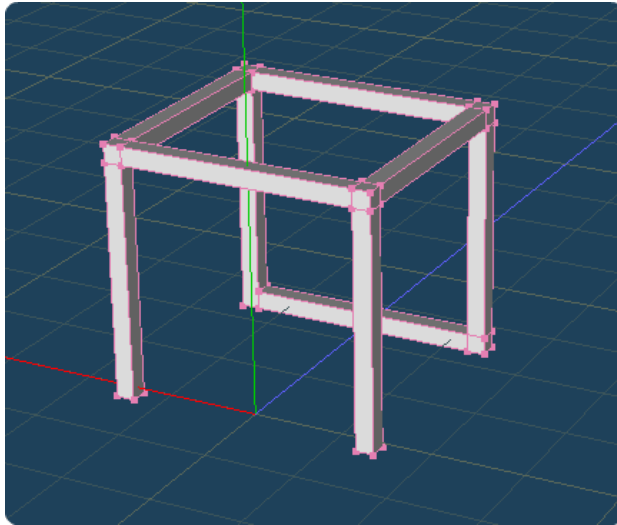
さて 3D プリントフレンドリーな立体は作れるのでしょうか? (ここから先で用いているのは Metasequoia と Autodesk Inventor Professional 2017 です。学生でなくなってこれが使えなくなった時のために Fusion 360 に移行する話はまた次回にでも。)

2.2 Metasequoia

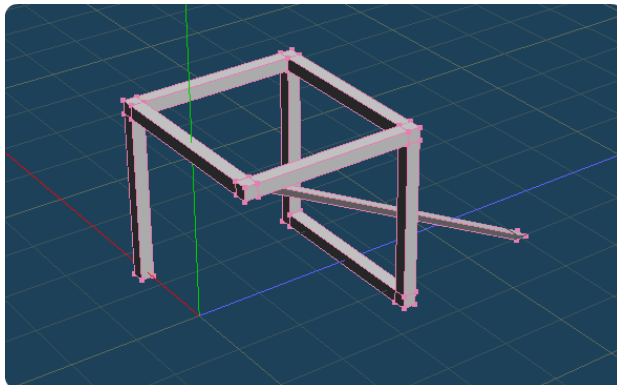
まずネッカーの立方体の説明をしたいところですが、手前にあるはずの辺が奥の辺よりも後ろに……などと言っても正確にイメージをつかむのは難しいのでパブリックドメインの画像を引っ張ってきました、こちらで確認ください。



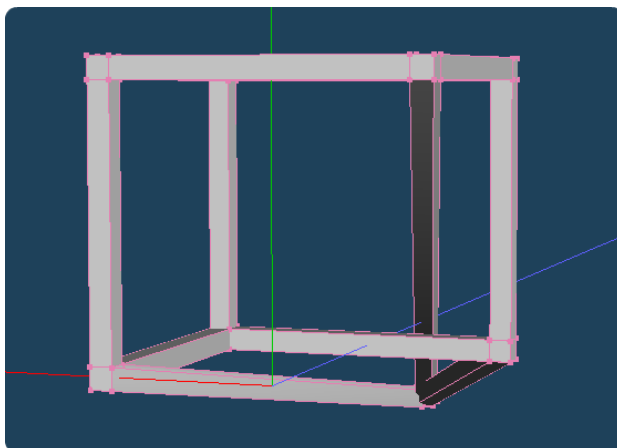
それではさっくり作ってみます。Inventor は作りたい形が定まっているときには強力ですが、あれこれ位置をずらしてみたりするのには不向きなのでまず Metasequoia で試作します。



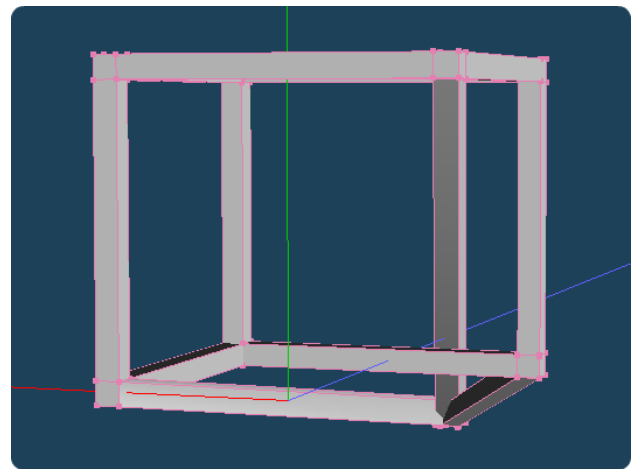
椅子状の物体ができたところで、奥にある棒が手前の柱の前を通りつつ後ろへ戻るようにせねばなりません。すなわち、こう。



いきなり強引な手法をとったように見えますが、奥の四角形を歪めるよりも手前の柱を動かすほうが全体の改変が少なく済む気がするのでこれでよいのです。それではつなげていきましょう。

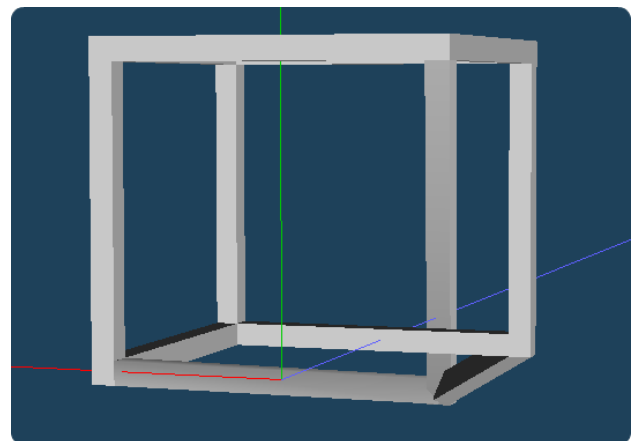


完成？ でもちょっと待って！ これでは遠くに飛ばした柱は下に降りていくにしたがって、手前下側の棒は奥に行くにしたがって、細く見えてしまいますよね？

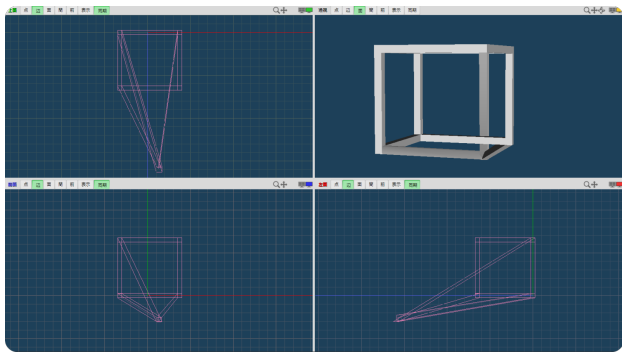


そこで奥側の面を拡大。

最後に、この錯視の最大のトリックである「手前の面と奥の面をつないでいるように見えて、実は奥の面から出てさらに奥へ向かう」底面の棒の見え方について検討します。Metasequoia のパースビュー上ではあまり問題ないように見えますが、現実の視覚では奥に向かっていくにつれて細くなっているように見えるはずですが、棒は、「奥が手前」(な…何を言っているのかわからねーと思うが以下略) なので、「手前」にあるはずの部分が奥より細いと違和感を感じてしまうはずですが。遠近感を騙すために奥に行くにしたがって太くならなくてはなりません(そして視覚上はほぼ均一な太さに見えるように)。

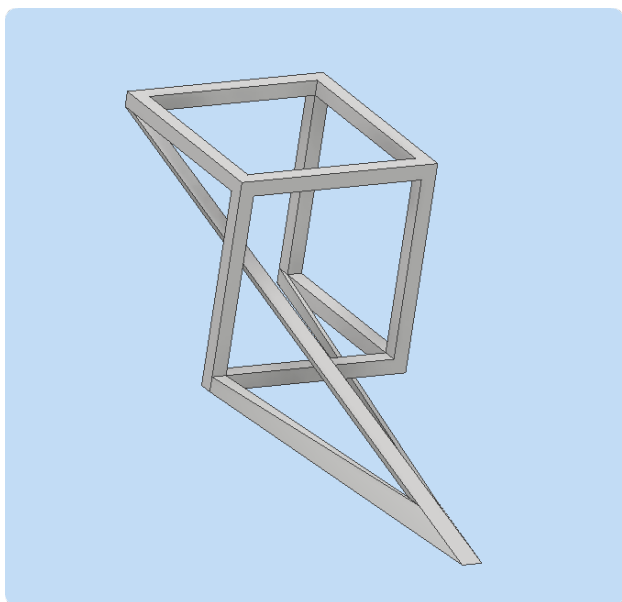
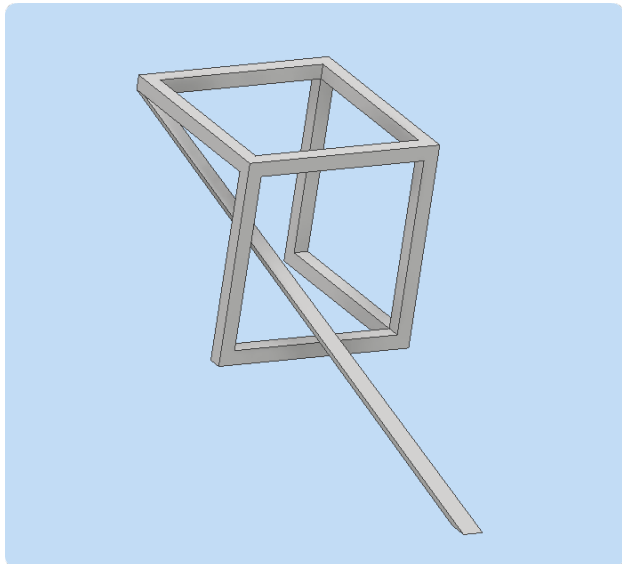


完成です。それではこの位置関係を参考にして Inventor で実現しましょう。



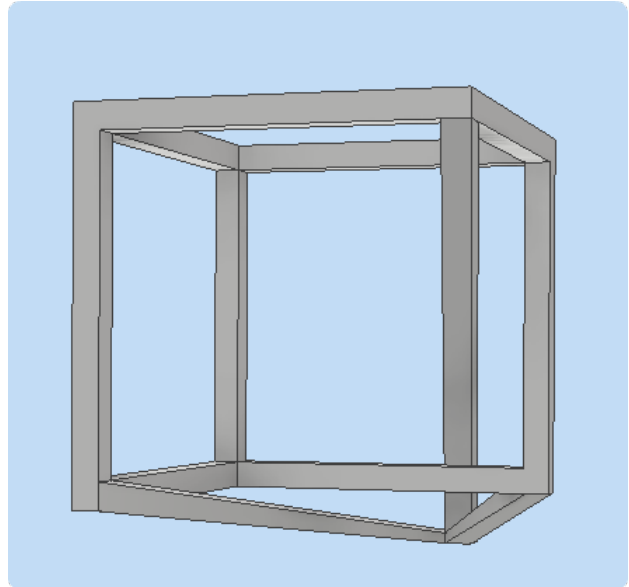
2.3 Inventor

Metasequoia ではメッシュをぐりぐり動かすだけでよかったのですが、実際に 3D プリントするとなれば重くなった部分が金平糖よろしくトゲトゲしてはいけませんね。そこでこのように

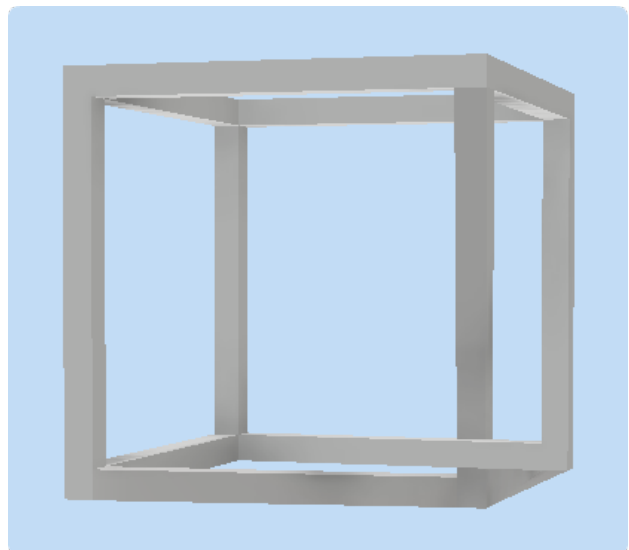


ロフト機能を使って三本の飛び出した棒がピッタリ

くっつくようにします。作りたいフィーチャの起点のスケッチを (本来の) 立方体の頂点に相当する部分に描いておき、飛び出した棒^{*1}の側面に沿って終点のスケッチを描けば出来上がりです。その間はねじれがあっても自動的につないでくれます。



おや、どうやら太さが足りないように見えますね。でも大丈夫、終点スケッチの寸法をいじるだけでロフトも自動的に修正されます。Inventor はかしこいので。



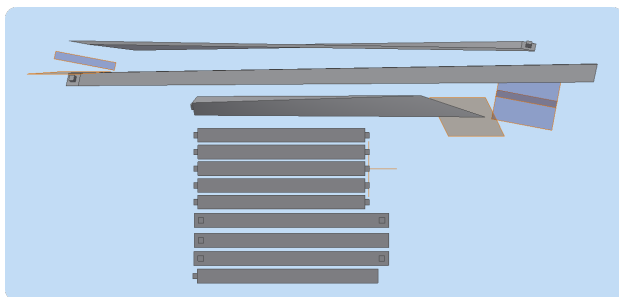
めでたしめでたし、さてこれで 3D プリントの注文をしましょ……

^{*1} 他の二本がくっつくベースとなる最初の一本もロフト機能で作っています。終点は既存平面からオフセットした作業平面上に描きます

・ 素材と価格:

石膏フルカラー 15,049円
 フルカラープラスチック 240,298円
 アクリル (Ultra Mode) ナチュラル 18,742円
 アクリル (Xtreme Mode) ナチュラル 41,154円
 ナイロン ナチュラル **10,281円**
 ナイロン ナチュラル (磨き) 10,621円

オ、ア、ア、ーッ！！ (画像略) 仕方がありません、全パーツ分割です。ナイロン樹脂における面接着は衝撃にかなり弱いことがC91の経験から分かっているのです、はめ込み式にします。



闇魔術を使って各辺をバラバラにして並べなおしました。こうすると **1,832 円**で済みます。差額の 8,949 円がパーツ分割の苦勞、あるいは一体成形の名人 (名出力機) 芸の価値に相当するわけですね。スカスカの物体を分割することで空間費 (最大外形寸法によって計算) の削減を行うのは、DMM3D プリントを利用する場合の一般的なテクなのでどんどん使っていきましょう (一体成形にこだわらなければ)。ただしパーツを分割しても距離が離れていたり方向がそろっていないと外形寸法を削減できません。私の場合は Inventor のアセンブリモードで各パーツを読み込み、一列に並べた上で STL 出力するという方法をとりました。

2.4 成果物

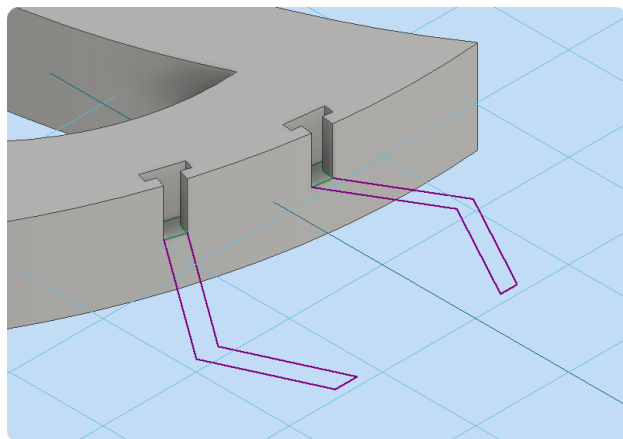
・ 造形精度

単純な形状のパーツの集合体であるためか、繁忙期でないためか、はたまたプリント速度が向上したのかはわかりませんが、ウェブサイトに掲載されている発送目安の 7~9 日よりかなり早い 4 日で届きました (造形開始から発送通知までは 2 日でした)。



こうして出力してもらうのも 3 回目となると、経験則らしきものが浮かび上がってきます。その一つは「凹部と凸部による接続は難しい」ということです。つまり、穴をあけて、そこに差し込むことで固定する手法は取りづらいのです。同一寸法で凹凸部を設計すると穴のほうが大きくなりがちで、結局瞬間接着剤に頼ることになります (それでも面に直接接着剤を塗るよりは外れにくくなります)。

D 言語くんの胴体と手足を繋げるのに利用した T 字スリットであれば、開口部が隠れないというデメリットはありますが、パーツが完全に外れてしまうまでに余裕があり (深く差し込んでいるため) さらにプラスマイナスどちらの誤差にも対応しやすい² のではないかと考えています (削る場合は細いヤスリが必要になります)。



・ 組み立て後の見た目

組み立てた状態の写真は、どうしてもパースが目立ってしまい肉眼での見た目とかなり異なるものなので省略します。写真で撮っても錯視が成り立つような設計の方法を考えたいところです。肉眼での見た目はおよそ

² 構造力学や精密工学を学んでいるわけではないので、もっと良い形状があればご教示ください

Inventor の項で掲載した画像の通りになっています。ただし、肉眼は Inventor のパースペクティブビューよりも水平方向について敏感で垂直方向について鈍感であるように感じました。例えば Inventor では下部手前側の横棒は右側(本当は奥)に行っても太さは変わらないように見えていますが、実際は太くなっているのがはっきり見て取れます。細く見えるぶんには太く見えるより違和感が少ないので、遠近感の補償をしようと遠くにある部分を太めにするのは慎重にしたほうがよいという教訓が得られました。

- 塗装

「手前にあるはずの柱が奥の棒に遮られる」視覚的効果をより明確にするため、垂直方向の棒4本をグレーに塗ることとしました。しかし仮組みをバラして塗ることは難しすぎ、また組んだ後では細かい場所で意図せぬところに塗料がついてしまったり^{*3}することが多発したため、色を演出に利用することを考えるならば真正面からテクスチャを焼き込みして石膏フルカラーで出力するべきなのかもしれません。寸法の調整やメッシュの重複などを考えると、この場合の作業フローは Metasequoia で全体像を作る→ Inventor で正確な形状を作る→ Metasequoia にインポートして、テクスチャの焼き込みを行う、ということになりそうです。

2.5 今後の方針

めでたく肉眼で錯視を実現できる立体物を作ることに成功したわけですが、こんな簡単にできてしまうものに新規性があるわけはありませんでした。杉原 (2013) にて既に示されている通り [17]、直角以外の角度を用いることによって錯視を実現するのは「不連続のトリック」や「曲面のトリック」よりは新しい手法ではあるものの、少なくとも4年前には実現されていたのです。ただ同論文で述べられているように、「通常の材料(板材や角材)を使った通常の加工法では、作るのが難しい」(前掲書, pp.145) のは事実なので、3Dプリントのおかげでこの手法による不可能立体の実現が容易になったことをこうして明らかにしたところに本記事の意義を見出すとしましょう。

今回私が作ったものはだまし絵立体と呼ばれる古典的な立体錯視の一つですが、杉原 (2016) によれば「新しい立体錯視が次々と発見されている」ようであり [18]、今後はより新しい形の立体錯視の3Dプリントに取り組んでいこうと思っています。

^{*3} ナイロンの成型色は透明感のある白なので、一度色を付けてしまうと削るしか元に戻す手段はありません

第3章

おまけ: コラム集

■コラム: Re:VIEW 初挑戦

先ほど記事でお会いしたばかりかと思いますがこんにちは、ねいびあです。皆様は Re:VIEW をご存じでしょうか？ 今イベント「技術書典」を主催している TechBooster 様をはじめ、多数のユーザーが利用している書籍執筆用のフレームワークで、紙媒体だけでなく EPUB や HTML、XML 形式にも出力が可能なのだそうです。今回私は初めて Re:VIEW を利用して原稿を作成したので、画像の上下に余白が生じたり、参考文献の番号振りに戸惑ったりといったこともありましたが、それでも各記事間でフォーマットが統一できるという点において優れていると感じました。惜しむらくはスケジュールの関係でメインの記事を書くことができたのが二名となってしまったことです。寂しい。次の会誌ではより多くの記事が上がってくると信じています。そのようなわけで今回情報系というよりは工学系？ の趣が強いものとなりましたが、楽しんでいただけたのであれば幸いです。

■コラム: 受験の準備の準備の準備をしています

こんにちは、hideo54 です。ついに灘高校 3 年生になりました。嘘やろ。(本当です)

さて、多分誰も覚えていないと思いますが、前回の記事^{*1}では冒頭に次のようなことを書いていました。

こんにちは、hideo54 です。灘高校で高校 2 年生をしています。最近の口癖は「受験したくない」です。これまでずっと SunPro 会誌に記事を出してきましたが、もしかすると高校生で SunPro 会誌の記事を執筆するのはこれが最後かもしれない……?!

正直この文を書いた時は、「どうせ次も書くんだろうな……w」と思っていた節もあったのですが、ところがどっこい、なんと今回（技術書典 2）、記事を書くことができませんでした。（ついに常連から外れてしまった。）SunPro は C92 には参加しませんし、C93 は参加するとしても僕は受験直前なので、本当に上記の記事が最後になってしまうのかもしれない。

さて、今回記事を書くことができなかったのは受験勉強で忙しかったから……ではなくて、ネタが浮かばなかった上に、色々な所用が重なって時間が足りなかったというだけです。勉強はまだ全然やってません……。

実は、受験勉強にまだ精を出していないどころか、かつて中学受験で培ったはずの勉強癖を 5 年間で完全に吹き飛ばしてしまった結果、受験の準備を始められる段階にすら立てていない状況なのです。

そんな中、僕が灘高校で所属している「パソコン研究部」の部誌を書かなければいけないことになりまして、少し考えた結果、「受験の準備の準備をする話」という題で記事を書くことにしました。今はその記事の準備をしている段階、つまり「**受験の準備の準備の準備をしている**」という状況です。

一見「パソコン研究部」の部誌の記事とは思えないタイトル。その内容は、次のようなものを予定しています。

- 昼夜逆転の生活習慣を改めるにはどうすればいいか？
 - － 早起きに成功するためにはどうすればいいか？
 - － 寝落ちを防ぐためにはどうすればいいか？
- 計画的に勉強を進めていくにはどうすればいいか？
- アニメやインターネットを断ち切って脱線を防ぐためにはどうすればいいか？

ますます技術とは無縁の、自己啓発書のような

容貌。しかし実際には、**これらの目標をすべて技術で解決していく**という内容を予定しています。

この記事は灘校文化祭が開催される5月2日に、<http://www.npca.jp/2017/>にて公開される部誌に掲載予定です！ この内容が気になる方、またはこの内容の記事を僕が無事書き上げられたのか気になる方は、ぜひ当日ご覧いただければと思います。
(完全に宣伝の流れに持って行ってしまった)

ちなみに、今後のSunProの記事のネタになりそうなものは複数考えていますので、次回の執筆がいつになるかは不明ですが、そちらもお楽しみに！

第4章

参考文献

第1章「異世界でゼロからコンピューターを作る方法」

[1]

ブルース・コリアー著 須田康子訳, "チャールズ・バベッジーコンピュータ時代の開拓者," 大月書店, Jun. 2009.

[2]

ジョゼフ・ギース, フランシス・ギース著 栗原泉訳, "大聖堂・製鉄・水車：中世ヨーロッパのテクノロジー," 講談社, Dec. 2012.

[3]

製鉄技術の歴史的発達構造 http://www.isc.meiji.ac.jp/~sano/htst/History_of_Technology/History_of_Iron/

[4]

田中和明, "図解入門よくわかる最新「鉄」の基本と仕組み," 秀和システム, Oct. 2009.

[5]

H.W. ディキンソン著 磯田浩訳, "蒸気動力の歴史," 平凡社, Dec. 1994.

[6]

"Hippolyte Fontaine", Britannica Online. <https://global.britannica.com/biography/Hippolyte-Fontaine>

[7]

発電機と電動機の歴史の概要 電気の歴史イラスト館 <http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/ouyou/grammedynamo.htm>

[8]

電線の歴史 電気の歴史イラスト館 <http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/zairyou/wire.htm>

[9]

電線の歴史 電線館.com <http://densenkan.com/know/densen1.html>

[10]

電線の歴史 一般社団法人電線総合技術センター http://www.jectec.or.jp/densen_kiso/History/history.html

[11]

大駒誠一著, "コンピュータ開発史 一歴史の誤りを正す「最初の計算機」をたずねる旅ー," 共立出版株式会社, Nov. 2005.

[12]

荒木健治著, "コンピュータ工学概論 コンピュータはなぜ計算ができるのか？," オーム社, Apr. 2013.

[13]

History of Computers and Computing, Birth of the modern computer, Electronic computer, Colossus computer of Max Newman and Tommy Flowers <http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/Colossus.html>

第2章「不可能図形を3D プリントで実現する」

[14]

MicrosoftStore. "Impossible Cube". Dec. 5, 2014. <http://www.thingiverse.com/thing:578572>, (accessed Jan. 2, 2017).

[15]

MicrosoftStore. "Escher Stairs". Dec. 5, 2014. <http://www.thingiverse.com/thing:578554>, (accessed Jan.2, 2017).

[16]

Nueros. "Escher Cube 3D Solution". Sep. 7, 2006. <https://youtu.be/FAYjN5hxLp4>, (accessed Mar. 12, 2017).

[17]

杉原厚吉. 不可能立体：錯視エンタテインメントへの一つの挑戦. オペレーションズ・リサーチ：経営の科学. 2013, 58(3), pp.143-148.

[18]

杉原厚吉. "不可能立体の進化：脳が生み出す不条理の世界". 科学技術振興機構. May 30, 2016. https://www.jst.go.jp/pdf/pc201605_sugihara.pdf, (accessed Mar. 14, 2017).

編集後記

博多市です。

もはや恒例も恒例ですが、入稿締め切り直前にこの文章を書いています。というより、本来編集後記とはこうあるべきものだと確信しています(?)。

今回の会誌では、前回の会誌発行から間もないことも合って、主にネタ出しの段階で苦労が見られました。僕の場合は、そもそも前回ネタ出しが間に合わなかったネタを今回蔵出ししたという感じなので、だいぶ準備期間を取って原稿を書き進めることができましたが^{*1}、前回ガチな記事を書いてくれたその他のメンバーは、やはり厳しかったようです。

この点、執筆業を仕事にしている人々は本当にすごいと思います。特に、締切に追われながらも常に一定のクオリティで原稿を上げてくる人はどうかしてるとすら思います。僕にもそういう人々に対する憧れはありますが、彼らに倣って締切とクオリティの両方を守ろうとするのはなるべく避けるようにしています（本当か?）。僕みたいな凡人が真似しようとする、確実に原稿が落ちます。なのでクオリティを下げてでも締切を守るべき、というよりもっと計画的に原稿を書くべき……というのは思っているのですが、今回も今回とて、直前にあわてて原稿を書きまくる羽目になってしまいました。しかも編集者特権をだいぶ濫用しています。目も当てられない。

そんなドタバタを越えての「SunPro 会誌」の第四冊目でしたが、いかがでしょうか。せめて見れるクオリティになっているでしょうか。今回から SunPro 用の感想フォームを設けたので、以下の URL にぜひぜひ感想をお寄せいただくと幸いです。次回以降の参考にさせていただきます。

この会誌が頒布されるイベントは「技術書典 2」ですが、続く「超技術書典」の一日目にも増刷して持ち込み予定です。その次のイベントは、おそらく冬コミになると思われます。また機会があったらお会いしましょう。今後とも SunPro をよろしくお願いします。

2017 年 4 月 6 日 博多市

感想フォーム

本誌を読んだ感想をお寄せください。**どんな内容でも泣いて喜びます。**



<https://sunpro.io/form>

^{*1} ただし、スケジュールに余裕が生まれるとは限らない。

SunPro 会誌 2017 技術書典

2017 年 4 月 9 日 初版第 1 刷 発行

著 者 hakatashi、napier

編 集 hakatashi

発行所 SunPro

印刷所 株式会社サングループ
