

制御系という認識の枠組みについての倫理を考える — 工学は人びとを幸福にできるか

A Consideration of Ethics regarding Episteme of Control Systems — Can Engineering Make Humans Happy?

○正 関口 明生^{*1}

Akio SEKIGUCHI^{*1}

^{*1} 木更津高専 National Institute of Technology, Kisarazu College

Half a century after the Club of Rome's "The Limits to Growth" and the Stockholm Conference, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicated in the sixth assessment report of working group 1 that "It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred." The Industrial Revolution is a common starting point for both global environmental change and the development of control engineering. In today's control engineering, which evaluates and improves stability and robustness of systems, is it possible to evaluate and improve sustainability or something equivalent of a system without reflecting on the preconditions of its norms? This paper is written since I can not think it is possible. I suspect that the traditional representation of control systems in our control theory embeds some of the causes that have given rise to such social issues. This is illustrated with reference to Uzawa's "Social Common Capital," which is one of the most reflective studies in economics.

Key Words : Sustainable Development Goals (SDGs), Meta-control of Control Engineering, Social Common Capital, Education, Reflection

1. 緒 言

本稿は私自身に対する告発である。自己批判するのは「制御工学の基礎において示される『制御系』(制御システム)について、教科書の始めのほうに書かれているような理解を、私が暗黙のうちに支持してきたこと」である。このことに照らせば、水俣病のような公害を引き起こす行動や人を殺すための道具を製造し使用するような行動について、それらを支える根源的構造が私自身の中にあることを認めるべきである。生まれてきてからの通常の生活を通して地球の環境をより持続的ではない状態に不可逆的に変化させる意味で、世代間を超えた暴力を私は続けきたのだろう。気候の変化にも見られるように、少なくとも目の現実をそれを常に示しているだろう。私はそれに向き合うことすらしばしば拒んでいるが、そうであってはならない。少なくともまずは、私の習慣が節度ある懐疑に照らされなければならない。

自己批判なら一人で勝手にすればよい。もっともであるが、一方でこの批判は「制御工学の基礎的部分は、工学の目的に照らして、すでに首尾一貫していないのではないか」という懐疑を提示する。このような懐疑を突飛な杞憂や虚構だろうと率直に考える姿勢は、私自身にも存在する。むしろ私には、制御工学の伝統的規範を現実に対して当てはめてものごとの解釈や設計をすることに慣れているだけではなく職業を含む生活上の規範の一つであることから、そう考えたい感情がある。だからこそかえって、計測と制御の事例や方法論を示すことと同じ程度には、本稿のような思考の事例を表す意義があるのではないか。制御工学の学問体系をかく乱する力が元より無いことは明らかであるものの、その意図が無いことをまずご理解いただきたい。

工学の目的は、人びとを幸福にすることであろう。少し具体的には、数学や物理学といった自然科学や時には人文社会科学の知見を応用することを特徴として安全や健康や福祉のために優れたものごとや環境を実現し人びとに供すること、のよに言えるのではないか。では、工学がその規範によって供する人びとは特定の世代や地域すなわち時間的や空間的に限られても、仕方がないか。たとえば市場原理のもとでさらなる技術革新やスルー

プットの高い消費に努めれば、世代間公正と世代内公正の倫理が結果的に満たされる日が来るだろうか。「持続可能な開発」(SDGs)は、社会的課題とそれに対する目標を包括した国際的理念として1980年に掲げられた。制御工学には何ができるか。

惑星規模の課題が現実として立ち現れるとき、学問の姿勢は主に2つ考えられる。一つの姿勢は、「…への対応」ようになる。つまり、伝統的規範を新しく適用して解決すべき対象として課題をみなして切磋琢磨する。もちろんそれらのなかには社会的に有効と考えられるものが多く含まれるだろうことを、ここに明示しておかなければならない。もう一つの姿勢は、主体的な規範よりも客体的な現実に優位を認める。つまり、自らの右手にある伝統的規範の偽りが目前の現実に関わっている可能性を考え、前提や枠組みの再考に向かう。

本稿は、制御工学の教科書などに基礎として示されるような制御系の認識のあり方について、後者の姿勢で問題を提起し、主張を提示して論証する。制御工学に関してその基礎を疑う研究においては、制御工学や工学の範疇だけで行うのではなく、分野を超えて、すぐれた省察から学ぶことが必要であろう。

2. 制御系という認識の枠組みに関する問題提起・主張・論証

システムの安定性やロバスト性を評価し改善する今日の制御工学において、システムの持続可能性またはそれに相当するものごとを評価し改善することは、その規範の前提条件を省察することなしに、可能であるだろうか。この問題提起が、今日の制御工学はSDGsに挙げられた目標のどれにも役立たないのではないかと、といったものではないことは、念のために示しておく。

この問題提起に対する主張は、おおむね以下の4つに分類できるだろう。

- (a) 持続可能性を定量的に定義することなどによって現行の制御工学の規範の延長線上において可能であるか、制御対象への入力エネルギーを最小にする制御方法などとしてすでに可能である、のような主張
- (b) システムの持続可能性に関する評価と改善は技術者倫理やCSR(企業の社会的責任)によって対処されるべきものであり、そもそもの問題提起が不適切であって制御工学にそぐわない、のような主張
- (c) 可能であるとは考えにくいとはいえ、社会的な価値や責任があるとも感じられず自身が取り組むには射程が広すぎると考えるため、制御工学の規範に従ってできることをするだけだ、のような主張
- (d) 可能であるとは考えにくく、むしろ、現実の社会的課題を生じさせてきた原因の一端が私自身の持つ制御工学の伝統的な規範の中に組み込まれている可能性がある、のような主張

(a)は制御工学における伝統的規範の普遍性を信頼してその発展に寄与することで社会的課題の解決を目指す主張であり、前向きで具体的な行動を伴ったものとしてしばしば現れる。(b)は制御工学の対処する範囲に限界を認める。(c)は他と比べて消極的であるが、論文数が昇任の根拠に置かれている状況に照らせば、そう考えることに共感できる。これら(a)~(d)はお互いにかみ合わない部分がある。制御工学の将来展望を含む文献⁽¹⁾⁽⁵⁾において(a)から(d)のどの立場が基礎にあるかは、本研究にとって興味深いことである。

SDGsに代表される社会的課題に面して、さらなる被害を防いで適切な状態に制御することについて、責任のうち多くが制御工学にあるなどとは考えられない。しかしながら、学問が真に学問であるならば、そうした被害の拡大を助長する性質がないかについても、ときおり省みられる必要がある。(d)の主張は、そのように伝統的規範を疑うことがでたらめにみえる状況であるほど、意義があるかもしれない。

本稿の主張は(d)に属する。ある程度簡潔に表せば、「制御工学の教科書などに基礎として現れるような制御系(制御システム)の認識のあり方は、SDGsに代表される現実に照らして、より包括的で倫理的なあり方を求めて省察されるべきなのではないか。さもなければ、工学が目的とするであろう人々を幸福にするということに対して首尾一貫性のない行動が続けられるのではないか。」となる。

「今日の制御工学においてシステムの持続可能性またはそれに相当するものごとを評価し改善することが、その規範の前提条件を省察することなしには、不可能ではないか」という主張の理由を単刀直入に示すならば、「今日の制御工学の規範において、図1に示すような制御系の表現を見れば、持続可能性がその前提条件にあると考えられるため」となる。

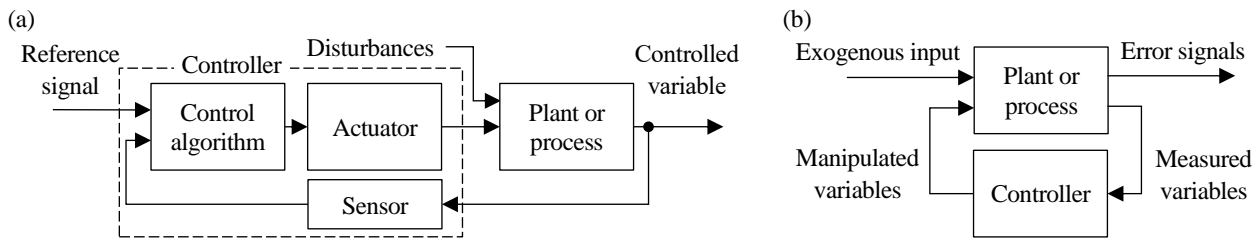


Fig. 1 Typical representation of control systems in (a) classical control theory and (b) modern control theory of robust control.

ただし、これは単刀直入すぎるだろう。そこで以下では、17世紀の科学革命に継ぐ産業革命以降¹を時間的視野として意識しながら、人類の活動による地球環境の変化と経済学における省察の一例と制御工学における制御システムの認知の枠組みとについてそれぞれ示し、本稿の主張の論証を試みる。

そもそも地球環境の変化は人類が原因であるのか。ローマクラブによる一般向け書籍⁶など各種の優れた文献が参考になる。現実を観測（計測）することはフィードバック制御の前提としても重要である。

ちょうど50年前にあたる1972年には、制御工学と共にシステム科学に分類されるシステムダイナミクスに基づいて、「成長の限界」がローマクラブにより示された。ストックホルム会議（国連人間環境会議）も同年である。去年の国連気候変動枠組条約締結国会議（COP26）では2015年のパリ協定による「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑える努力を追求する」との目標が確認された。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は去年の第6次報告書（AR6 WG1）において「人間の影響が大气、海洋および陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない（unequivocal）」⁷と示した。

技術が従来の延長で発展すれば解決するのではないか。これは、熟慮されなければならない。図2は、国際的シンクタンクのグローバル・フットプリント・ネットワーク（GFN）による、世界各国の人間開発指数（HDI）とエコロジカル・フットプリント（EF）に基づく地球の必要数との関係である²。世界全体での地球の必要数は1970年代初頭に1.0を超えたあと増加を続け2017年には1.72個に達した³。つまり、地球平均で見たとしてもこの50年間にわたりすでに持続可能な状態ではないことが示されている。

この図は、各国において人間開発が進むほどその国の通常のあり方が持続不可能な状態に向かう傾向を示す。この傾向が現実をある程度表しているならば、対象に応答する能力としての社会的責任や目的に対する首尾一貫性が公共における私自身の生活はもちろん工学や経済学といった学問における少なくない程度において欠けている可能性も考えられる。

藤垣⁸は「科学者の社会的責任」について、第二次世界大戦における原子爆弾の投下に始まる責任の省察としてのフェーズ1から1960年代半ばからの環境汚染問題の責任を対象としたフェーズ2を経て1980年代以降には科学的研究方法における研究不正の防止や税金の投資に対する説明責任のフェーズ3へ推移したことを示した。現代の研究者にはフェーズ3の意味の社会的責任が常に求められているが、前者2つも不要ではない。

「非因果的」ともいえるような世代間公正の意識を未来の世代に対して持つ責任はあるのか、という問いは倫理学に関係し、経済学の一部が先行してきた。稲葉⁹は応用倫理学のうちの環境倫理学において、(1) 私有財産制度・市場経済システムの限界（市場の失敗）と(2) 人間の経済活動の持続可能性（地球環境によるその許容可能性）と世代間正義からなる2つの問題設定がその確立に重要な役割を果たしたという。

¹ 産業革命という言葉が初めて使われたとされる1837年に日本はまだ江戸時代であるから、産業革命以降を持ち出すということが大げさに考えられるかもしれない。ただ、生命誕生以降の35億年を3.5 kmとすれば300年は0.3 mmであることからしても、かえって時間的な視野が狭すぎる恐れがある。産業革命には、「道徳感情論」と「国富論」で知られるアダム・スミス以降の経済学の発展とニューコメン型蒸気機関の制御工学的な改良で知られスミスの友人でもあるジェームス・ワット以降の工学の発展と人類による自然資源の植民地的ともいえる利用の発展について、それぞれの起点がある。

² EFは各国の一人あたりの消費をまかなうために必要な生態系サービスの需要量を地球上の面積で表した指標である。地球の必要数は、利用可能な生態系の許容量の世界平均（2017年度は約1.6 Ha）に対するEFの比率で算出される。HDIは国連開発計画（UNDP）による平均余命、成人識字率と教育就学率、所得の複合統計であり0から1の指数で表される。

³ <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=5001&type=earth> なお、日本において、HDIは1980年の0.77から2019年の0.91に増加する一方で、地球の必要数は1963年頃に1.0を上回り直近30年間は2.7個程度の水準を維持してきたという。<https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=110&type=earth>（それぞれ2022年7月20日に参照）

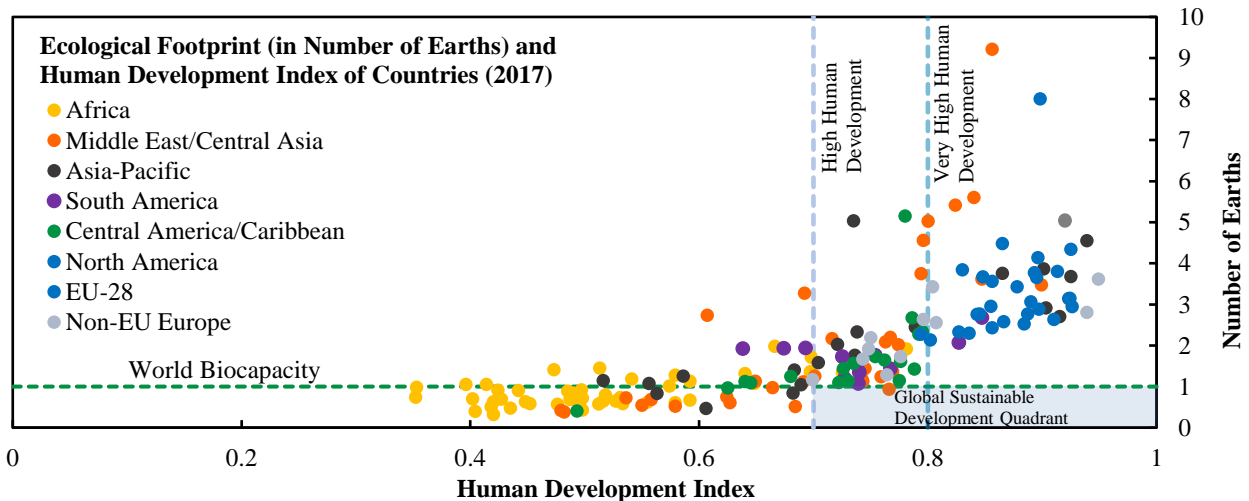


Fig. 2 Ecological footprint (in number of earths) and human development index of countries (2017).

Source: Ecological Footprint (in number of Earths): National Footprint and Biocapacity Accounts, 2021 Edition, Global Footprint Network. Human Development Index: Human Development Report, 2020, United Nations Development Programme. www.footprintnetwork.org/licenses/

経済学は複数の学派で構成されているが、それらの規範が環境汚染問題などに面しては、1章に示した2つの姿勢が存在した。自らのもつ規範を省察する後者の姿勢の一例として、本研究の起点に重要な示唆を与えたのは、宇沢の「社会的共通資本」(social common capital)⁽¹⁰⁾である。宇沢は数理経済学者として、経済学の本来の目的に照らしながら、現代の資本主義を支える経済学の規範を具体的に省察した。

社会的共通資本は「一つの国ないし特定の地域に住むすべての人々が、ゆたかな経済生活を営み、すぐれた文化を展開し、人間的に魅力ある社会を持続的、安定的に維持することを可能にするような社会的装置」を意味する。それは、大気や海洋や陸域などの自然環境と、道路や交通機関や電力などの社会的インフラストラクチャーと、教育や医療や金融制度などの制度資本に分けられる。それら一つずつの管理と運営は、政府による基準や市場で取引される財やサービスと同様の基準ではなく、それぞれの分野による職業的専門家によって、専門的知見と職業的規律のもとで、たんなる委託を超えたフィデュシアリー (fiduciary) の原則に基づいて信託されるものでなければならない、と宇沢は論じた。

社会的共通資本が向上する必要条件には、その一つずつがそれと認知されることと、それらが職業的専門家の高い倫理観と知見のもと管理・運営されることがある。さもなければ、社会的共通資本は棄損され続ける。その結果として一部が宇宙を観光できるほど豊かになったとしても、多くの人びとに映るのは社会的共通資本の低下した現実である。統計的な格差の変化を挙げずとも、大気や海洋の変化として自然がこれを示し続けてきた。

この「さもなければ」は、できるところで地球環境に配慮し対応しているといいながら利己的などとはまず言われない通常のあるあり方として、容易に実現できるのであろう。手前の出来事や自分の専門しかほぼ学ばず現実の感度を下げることや、伝統的規範にそぐわない現実を認知しても規範の優位を安易に認めて自分ごとにせず現実に対する応答の可能性を低く抑えることや、規範に先立つべき目的の認知を棚に上げて慣習に従うことで規範自体の自己目的化の支持や首尾一貫性の消失に加担することが、代表的かつスマートかつ暗黙のうちの手口であるだろう。私は私自身についてそのように白状しなければならない。制御工学あるいは自分自身に対するその教育という社会的共通資本に関して、職業的専門家としての私は何ができているのだろうか。

制御工学は産業革命前後から発展し、日本には戦後に導入された。今日では、サイバネティクス、システム工学、システムダイナミクスなどと共にシステム科学に分類される。機械工学や電気工学と異なり、システム科学の他の学問と同様に、自然科学に基礎を持たない特徴がある⁽⁹⁾。

制御工学の目標を短く表せば制御対象のふるまいを改善することであり、その主な手段は適した制御器を制御対象に接続して目標を満たすような装置すなわち『制御系』を構成することである。図1は一般的な制御系の図的な表現である。制御工学の基礎にあたる古典制御の入門書は日本でも50年以上にわたって挙げられるが、構成

要素の呼称などを除いて変化がなく、この図よりも広い表現が示される書籍は極めてわずかであった⁽¹¹⁾。

今日の制御工学の規範において持続可能性がその前提条件にあるように考えられる、という考えがある程度の説得力を持つかは、図1のような制御系の伝統的表現が端的に示しているのではないか。この図によれば制御系は制御対象と制御器の相互作用からなるものである。相互作用の外部から与えられる外乱と目標値とに対するふるまいは理論上および実用上で重視する一方で、外部へ与える作用についてはほぼ意識されていない。「外部不経済」に相当する用語は制御工学にない。また、この制御系を実現し維持し破棄する際に前提となるエネルギーや資源の変化や制御系を管理し運営する主体はこの図に含まれず、この相互作用にとって理想的環境であることを基本的な前提としている。加えて、不適切な目標値の入力に応じて不適切なふるまいを生じて、制御系にも問題があるとは基本的に捉えられない。

もちろん、制御工学が用いられる際に制御対象と制御器以外の認識が常に捨象されているわけではない。電動アシスト自転車を例にすれば、人、外界、エネルギーと資源に関わるエントロピー、社会的な制度も含んだ安全策といった広い認識を持ってその本来的な目的に対する首尾一貫性が考えられてきた、そう言われるだろう。

図1のような制御系の表現は科学的真理であるか。そうならば、それは証明されていなければならない。そうではないならば、多くの書籍でこれが示される際に、現実をずいぶん都合よく解釈したものであることが、線形時不変システムの説明と異なって、なぜ説明されないのだろうか。「嘘も方便」の一種であるとしても、徹底しすぎではないだろうか。今日の制御系の認識は、人びとを幸福にできるのだろうか。

ものごとを認知しない限り、それは少なくとも思考上に存在せず、応答の可能性もありえないのではないか。

3. 結 語

制御工学における制御系という認識の枠組みに関して思考の一事例を示した。表現や論証の不足で読者の時間を奪ったことについてお詫び申し上げたい。過去の嘆き⁽¹²⁾と未来の嘆きが私をつらぬき続けることを願う。

文 献

- (1) 土谷武士, “制御工学の目指すもの”, 電気学会誌, Vol. 117, No. 10 (1997), pp. 675-678.
- (2) 日本学術会議自動制御研究連絡委員会, “自動制御研究連絡委員会報告「基幹工学としての自動制御—その将来像と教育のあり方—”, 日本学術会議第816回運営審議会, (1994), pp. 481-500.
- (3) Murray, R., Astrom, K., Boyd, S., Brockett, R., and Stein, G., “Future Directions in Control in an Information-Rich World”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23, Issue 2 (2003), pp. 20-33.
- (4) 佐野昭, “システム制御工学と環境問題”, 計測と制御, Vol. 45, No. 10 (2006), pp. 837-838.
- (5) 木村英紀, “制御工学の現状と課題”, 学術の動向, Vol. 13, No. 7 (2008), pp. 66-67.
- (6) エルンスト・フォン・ワイツゼッカー, アンダース・ワイクマン, 林良嗣, 野中ともよ, 中村秀規, 森杉雅史, 柴原尚希, 吉村皓一, “ローマクラブ『成長の限界』から半世紀 Come On! 目を覚まそう!”, 明石書店, (2019), pp. 21-160.
- (7) IPCC, “Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press, (2021), p. 4, doi:10.1017/9781009157896.001.
- (8) 藤垣裕子, “科学者の社会的責任”, 岩波書店, (2018), pp. 4-23.
- (9) 稲葉振一郎, “社会倫理学講義”, 有斐閣, (2021), pp. 178-197.
- (10) 宇沢弘文, “社会的共通資本”, 岩波書店, (2000), pp. 2-43.
- (11) 関口明生, “制御工学の入門書における制御システムの表現の調査”, 木更津工業高等専門学校紀要, Vol. 55, (2021), pp. 107-112.
- (12) 原民喜, “夏の花・心願の国”, 新潮文庫, (1973), pp. 183-224.