



京機短信

KEIKI short letter

No.385 2023.10.06

京機会(京都大学機械系同窓会)

tel. & fax. 075-383-3713

E-Mail: jimukyoku@keikikai.jp

URL: <http://www.keikikai.jp>

編集責任者 京機短信編集委員会

目次

- ・ 2023 Formula SAE Japan大会報告……加藤雅大 (pp.2-3)
- ・ series 研究最前線 (7) 車輪機構の解析 (analysis) と総合 (synthesis) ……寺川達郎 (pp.4-12)
- ・ わたしの仕事 (45) 株式会社大阪真空機器製作所……角谷仁郎 (pp.13-16)
- ・ 文政/令和・江戸/東京散歩 (その1) 江戸城・皇居……藤川卓爾 (pp.17-22)
- ・ 2024年度 京機会総会開催のご案内……京機会事務局 (p.23)

8月28日(月)～9月2日(土)に開催された学生フォーミュラ日本大会2023でのKartの雄姿をお届けします!!



2023 Formula SAE Japan大会報告

京都大学フォーミュラプロジェクトKART 加藤雅大

学生フォーミュラ日本大会2023の動的審査が静岡県小笠山総合運動公園エコパにて開催され、無事大会のすべての日程が終了しました。弊社チームは総合13位という結果に終わりました。



ブレーキテストは2日目に通過する予定でしたが、技術車検への対処に時間を要したことな

どから3日目にずれ込むこととなりました。ブレーキテストではなかなか全輪ロックできずかなりの苦戦を強いられましたが、多くのトライの末何とか合格することができました。

3日目はブレーキテストの後、午前中にアクセラレーションを1回走行しました。今年度のマシンはシームレストランスミッションを搭載しており、タイムに大いに期待を寄せていましたが、エアポンベの弁を開け忘れるという初歩的なミスによりシフトチェンジができず、マシンのポテンシャルを発揮できない走行となってしまいました。

午後からは、大会直前に故障してしまっていた電子制御スロットルの修理が完了し、それを車両に組み付ける作業を行いました。これにより、アクセラレーションとスキッドパッドで良い結果を残すことはできなくなるが、オートクロスとエンデュランスにおいてマシンのポテンシャルを最大限に引き出せると考えておりました。しかしながら、車両に搭載すると電子制御スロットルが上手く動かなくなるという新たなトラブルが生じてしまい、搭載を断念することとなってしまいました。そんな中で迎えたオートクロスにおいては、ドライバーの活躍により、昨年度のタイムを上回る好タイムを出し、ファイナル6へあと一歩というところまで付けることができました。

4日目は弊社チームの走行はありませんでしたが、コスト監査とデザインファイナルの二つの静的審査が行われました。コスト監査とは、コスト審査において提出した写真と、マシンに実際に搭載されたパーツが整合しているかどうかを、審査員が直接車両を見て確認するという今年度から新たに行われるようになった審

査です。初めて経験する審査であっただけに不安もありましたが、コスト審査の資料提出時点で多く存在していた未完成パーツのほとんどすべてを製作して実車に搭載できているという点で評価していただきました。デザインファイナルは、デザイン審査上位3チームが審査会場において審査員からマシンを見ながら様々な質問を受け、それに対して自分たちが設計において考えたことを一つ一つ説明していき、その受け答えを基にデザイン審査の上位3チームの順位を決定するというものです。サスペンション、ボディ・エアロ、パワートレインのどのセクションについても質問されたことに対して的確な返答を行い、オンラインで行われていたデザイン審査では伝えきれなかった情報を余すことなく審査員にアピールできました。

5日目の最終日にエンデュランスが行われました。エンデュランスでは3日目のオートクロスのような走りができれば高得点が狙えると考えておりましたが、エンジンが思うように吹けないなどのトラブルによりタイムが伸びませんでした。しかし、何とか完走することはでき、チーム一同安堵することができました。

以上の結果、目標として掲げていた総合優勝からは程遠い総合13位という不甲斐ない結果となってしまいました。今年度、応援して下さった皆様には、ご期待を裏切るような形になってしまい申し訳なく思っております。今回感じた大きな悔しさをばねに来年必ず良い結果が残せるようにチーム一同励んでまいります。

最後になりましたが、一年間温かいご声援、ご支援をくださいましたスポンサー、サポーター、OB・OG、先生、技術職員の皆さんには心より感謝申し上げます。この活動を通して学んだことを糧にしてまた来年良いご報告ができますようKARTは活動してまいります。これからもKARTの挑戦にどうか変わらぬご期待をくださいますよう、心よりお願い申し上げます。

得点

Cost.....	66.03(4位)
Presentation.....	65.21(6位)
Design.....	140.00(2位)
Acceleration.....	4.50(30位)
Skid Pad.....	---- (---位)
Autocross	101.20(7位)
Endurance	119.98(16位)
Efficiency.....	40.40(24位)
Total	537.32(13位)

series 研究最前線 (7)

車輪機構の解析 (analysis) と総合 (synthesis)



寺川達郎 (H26/2014卒)

「数ある車輪機構において特性の違いとはどこから生じるのか？望んだ特性の車輪機構を意図的に創造することはできるのか？」

1. はじめに

小さな力で重い物を高速に移動することができる車輪（輪軸）は最も身近な機械であると同時に、最も偉大な発明の一つと言っても過言ではないでしょう。車輪は紀元前3000年頃には既に登場し[1]、輸送機械を代表とする様々な形をとりながら現代に至るまで文明社会の発展に貢献し続けてきました。今や車輪は人々にとって当たり前の存在となり、近頃では「車輪の再発明」のような表現も見られます。しかし、実のところ機構としての車輪は発明し終わっているわけではなく、現在も新たな構造・原理の車輪機構が研究・開発されています。

図1に代表的な車輪機構を示します。図1(a)は車軸周りの回転により前後へ移動する機能を持った車輪機構で、言わば普通の車輪です。図1(b)は車軸周りの回転に加えて接地点回りの回転（操舵）も可能な車輪機構[2-4]です。図1(c)はキャスタ車輪[5-7]で、ショッピングカートやオフィスチェア等に使われています。図1(b)との違いは、車輪の操舵軸と接地点の間に一定のオフセットがある点です。以上の3種類は日常生活の中でも目にすることの多い機構です。図1(d)はオムニホイールと呼ばれる車輪機構[8-10]で、車輪外周に複数のローラが搭載されています。車輪本体が回転することで前後に、外周ローラが回転することで左右に移動することができます。図1(e)はメカナムホイール[11-13]です。基本的な動作原理はオムニホイールと同様ですが、外周ローラが斜めに取り付けられている点が特徴です。図1(f)は球車輪[14-16]で、文字通り球形の車輪を回転することで好きな方向に移動できます。図1は典型的な構造の一例を示していますが、軸配置や形状、駆動方式などの違いでさらに多くのバリエーションが存在します[17-20]。

このように様々な機構が存在する理由は、当然様々な特性を実現するためです。特に車輪機構において重要なのが移動に関する特性（degree of mobility [21]）で

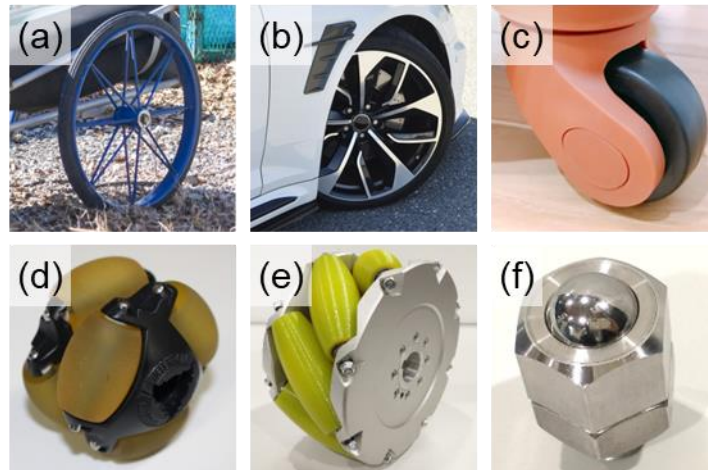


Fig. 1 Varieties of wheel mechanisms. (a) Fixed wheel. (b) Orientable wheel. (c) Caster wheel. (d) Omni wheel. (e) Mecanum wheel. (f) Spherical wheel.

す。例えば図1(a)の車輪を同軸に2輪配置した移動装置は、前後への移動と旋回は自由に行えますが、左右へ直接移動することはできません。また図1(b)の車輪機構を複数備えた移動装置は、車輪の向きを適当に調節すれば任意の方向へ移動できますが、予備動作なしに即座に移動可能な方向はやはり限られます。これに対し、図1(c)–(f)の車輪機構を適宜な数搭載した移動装置は、即座に前後・左右・斜めへの移動や旋回を行える、すなわち全方向移動が可能です。

では、このような車輪機構の特性の違いはなぜ生じるのでしょうか。前置きが長くなりましたが、これが本稿の主題になります。この問いに対し、私達の研究では車輪機構の運動学に着目し数理的にアプローチすることで答えを得ました。さらに、その答えを逆に利用して新しい車輪機構を生み出すことにも取り組んでいます。こうした解析 (analysis) と総合 (synthesis) は機構学の“両輪”であり、機械設計の実践においても重要な位置を占めるものです[22]。本稿でその一端をご紹介します。

2. 車輪機構の解析と一般化運動学モデルの導出

車輪機構の違いを調べるに当たり、各機構の運動学条件式(速度のつり合い式)を見てみます。図2に示すように定義した座標系において、図1(a)–(f)の各機構に対応する運動学条件式はそれぞれ以下の式(1)–(6)のようになります。

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\varphi} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

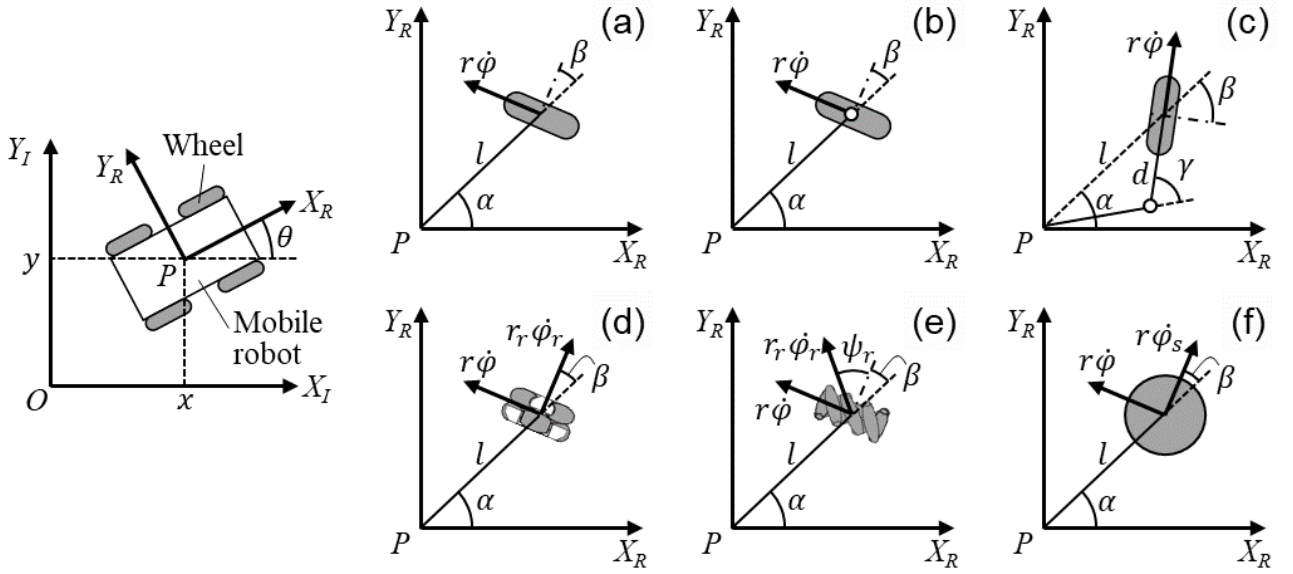


Fig. 2 Reference frames for kinematic analysis of a mobile robot

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} - d\dot{\gamma} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r_r\dot{\phi}_r = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} - r_r\dot{\phi}_r \sin \psi_r = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r_r\dot{\phi}_r \cos \psi_r = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi}_s = 0 \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 $\xi = [x \ y \ \theta]^T$ は移動装置本体の位置と姿勢を表すベクトル、 l 、 α 、 β は移動装置本体に対する車輪の位置と姿勢を表すパラメータ、 $R(\theta)$ は回転行列、 r は車輪の半径、 $\dot{\phi}$ は車輪の回転角速度、 d および γ は車輪のオフセットおよび操舵角（キャスト車輪）、 r_r および $\dot{\phi}_r$ はローラの半径および回転角速度（オムニホイール・メカナムホイール）、 ψ_r はローラの取り付け角（メカナムホイール）、 $\dot{\phi}_s$ は横方向への車輪の回転角速度（球車輪）。また、ここでは式(1), (2)を区別せず表記していますが、式(1)では β は定数、式(2)では β は変数です。各式の上段は車輪の前後方向、下段は左右方向に関するつり合い式に相当します。

このように並べて見るとすぐに分かりますが、式(1)–(6)の左辺第1項 ($\dot{\xi}$ に関する項) はどの機構でも全く同じです。よって、式(1)–(6)は以下のように書き直すことができます。

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - \dot{g} = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} - \dot{f} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

ただし、

$$\begin{array}{ll} \dot{f} = 0, \dot{g} = r\dot{\phi} & \text{for fixed wheel} \\ \dot{f} = 0, \dot{g} = r\dot{\phi} & \text{for orientable wheel} \\ \dot{f} = d\dot{\gamma}, \dot{g} = r\dot{\phi} & \text{for caster wheel} \\ \dot{f} = r_r\dot{\phi}_r, \dot{g} = r\dot{\phi} & \text{for omni wheel} \\ \dot{f} = r_r\dot{\phi}_r \cos \psi_r, \dot{g} = r\dot{\phi} + r_r\dot{\phi}_r \sin \psi_r & \text{for Mecanum wheel} \\ \dot{f} = r\dot{\phi}_s, \dot{g} = r\dot{\phi} & \text{for spherical wheel} \end{array}$$

以上より、すべての車輪機構の運動学条件式はたった一つの式に集約されることがわかりました。式(7)があらゆる車輪機構の運動を記述する一般化された運動学モデルであり、式中の \dot{f} と \dot{g} が機構固有の運動を表す項となります。

ここで一つネタバラシをしますと、上式で第1項が全く同じになったのは図2でそうなるようにパラメータの取り方を定義したからに過ぎません。そのため、先行研究の表式とは異なる部分もあります[21]。しかし、式の形が異なろうとも表現される運動は結局同一であるため、ここで重要なのは「現象を理解しやすい、都合の良い座標系を見つけられるかどうか」であると言えます。幾何学をベースとする機構学において重要なテクニックの一つです。

話を式(7)に戻すと、 \dot{f} と \dot{g} が機構固有の項ならば、それらを分析することで各機構の特性の違いを説明することができるはずですが。実際に、前章で述べた全方向移動可能性に注目すると、全方向移動不可能なfixed wheel (図1(a)) と orientable wheel (図1(b)) では $\dot{f} = 0$ 、その他の全方向移動可能な機構では $\dot{f} \neq const$ であることがわかります。これが何を意味するかというと、車輪が(移動装置本体に対して)横方向に速度を発揮可能かどうかです。これは至極当たり前のことで、移動装置本体が車輪横方向に移動する余地がなければ、その時点で全方向移動は不可能ということになります。逆に横方向の速度を設定できれば、前後方向は車輪の回転で任意の速度を取れるため、移動装置本体は全方向移動可能となります。結果を見ると簡単なことでも、意外と指摘されるまでは思いつかないのがこの分

野の面白いところです。式(7)は、そうした「気づき」を得るためのツールだと言えます。

3. 新車輪機構の総合

様々な車輪機構を目にしたとき、もう一つ関心が持たれるのが「他にどんな未知の機構が存在するのか」ということです。新しい機構を創造することは機構研究における本懐でもあります。これに対し、前章の議論で明らかとなった全方向移動可能な条件（ f および g が任意の値を取れること）から新しい全方向車輪機構の総合を試みます。

まず g が任意となる条件については、他の車輪機構と同様に車輪の回転角速度 $\dot{\phi}$ が g に含まれることで達成できます。次に f が任意となる条件を満たすためには、常に適当な f の値が与えられるよう何らかの変数（機構においては対偶）を割り当てる必要があります。ここでは構造上の優位性を考え、車輪そのものには手を加えず、車輪外に機構を付加することにしましょう。そこで、図2中のパラメータから l を利用します。 l を可変にするには、車輪と移動装置本体の間を直進対偶（リニアガイド）で接続すればよく、図3のような構成が考えられます。このとき、運動学条件式は

$$\begin{cases} [-\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) l \cos \beta]R(\theta)\dot{\xi} - r\dot{\phi} - \dot{l} \sin \beta = 0 \\ [\cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta) l \sin \beta]R(\theta)\dot{\xi} + \dot{l} \cos \beta = 0 \end{cases} \quad (8)$$

となり、式(7)において $f = -\dot{l} \cos \beta$, $g = r\dot{\phi} + \dot{l} \sin \beta$ に相当します。従って、車輪の回転角速度 $\dot{\phi}$ および直進対偶の相対移動速度 \dot{l} が任意の値を取れるならば、 f および g が任意となり、全方向移動を実現できることとなります（ $\beta \neq \pi/2$ ）。

これで理論上は全方向移動可能ですが、具体的な機構の運動で確認してみます。

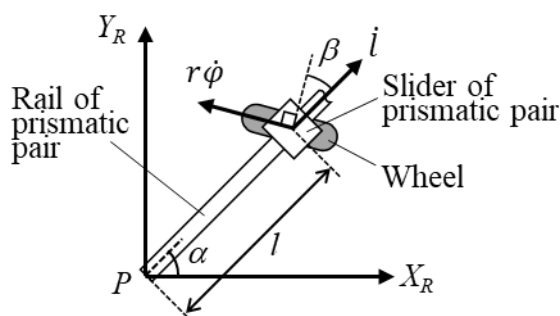


Fig. 3 Wheel mechanism using a prismatic pair

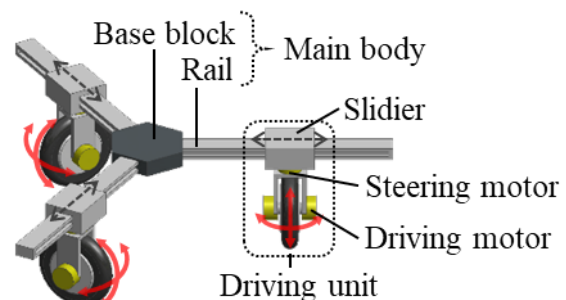


Fig. 4 SWOM (slidable-wheeled omnidirectional mobile robot) [23]

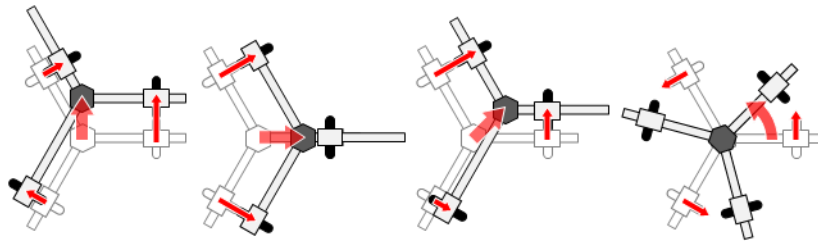


Fig. 5 Omnidirectional movement of SWOM

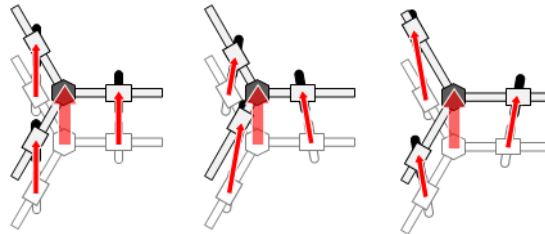


Fig. 6 Control of relative movement directions of prismatic joints

総合した車輪機構を3輪備えた全方向移動ロボットがSWOM (slidable-wheeled omnidirectional mobile robot、図4) です[23]。直進対偶のレール3本が基礎部に固定され、SWOMの本体を構成します。各車輪はそれぞれ接続された直進対偶のレール上を受動的に移動可能とします。このとき、SWOMの全方向移動の様子を模式的に表したのが図5です。各車輪に適当な速度を与えることで、移動装置内での車輪の相対位置の変化を伴いながら、SWOM本体は任意の方向へ移動することができます。

なお、図5のまま移動を続けるとやがて車輪がレール端に達し、それ以上移動できなくなることが予想されます。これに対し、車輪の向きを能動的に変化できるように構成すれば、図6に示すように車輪の相対移動方向を制御できるようになるため、レール端への到達を回避可能です[24]。これは式(8)で言うと、 β の値が可変となることで、全方向移動の条件を満足する f ひいては l に一定の自由度が生まれることによります。このように数式と機構を行ったり来たりしながら望ましい機能に近づけていくよう、研究は進められます。

4. おわりに

本稿では車輪機構に関する機構学研究の事例として、一般化運動学モデルに基づく解析と総合についてご紹介しました。実は本稿の内容は主に2018年の論文[23]によるものでそれ自体は最新と少々言い難いのですが、これまでの様々な機構の各論の蓄積から一般化された理論が導き出され、機構研究の新たな局面がス

ターゲットするフロンティアになることを期待し、今回取り上げさせていただきました。私自身も本理論を基盤として現在さらなる新機構や新動作原理の研究に取り組んでいます。今後、まだ現状では扱い切れていない運動や特性も取り込み、さらなる展開を目指していきたいと考えています。

参考文献

- [1] 日本機械学会編, 機械工学便覧, α 1 機械工学総論 (2005), pp.32–49, 日本機械学会.
- [2] Wallace, R., Stentz, A., Thorpe, C., Moravec, H., Whittaker, W., and Kanade, T., “First Results in Robot Road-Following”, *Proceedings of the 9th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2 (1985), pp. 1089–1095.
- [3] Moore, K.L. and Flann, N.S., “A Six-Wheeled Omnidirectional Autonomous Mobile Robot”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 20, No. 6 (2000), pp. 53–66, doi: 10.1109/37.887449.
- [4] Setiwan, A., Faisal, M.I., Binugroho, E.H., Maulana, H.S., Satria, N.F., and Dewanto, R.S., “Design and Fabrication of Swerve Drive Mechanism for Mobile robot Platform”, *Proceedings of International Electronics Symposium (2023)*, pp. 348–353, doi: 10.1109/IES59143.2023.10242502.
- [5] Wada, M., Tominaga, Y., and Mori, S., “Omnidirectional Holonomic Mobile Robot Using Nonholonomic Wheels”, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 3 (1995), pp. 446–453, doi: 10.1109/IROS.1995.525923.
- [6] Holmberg, R. and Khatib, O., “Development and Control of a Holonomic Mobile Robot for Mobile Manipulation Tasks”, *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 19, No. 11 (1999), pp. 1066–1074, doi: 10.1177/02783640022067977.
- [7] Kato, K. and Wada, M., “Modeling and Mechanical Design of an Active-Caster Omnidirectional Mechanism with a Ball Transmission”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 30, No. 6 (2018), pp. 910–919, doi: 10.20965/jrm.2018.p0910.
- [8] Grabowiecki, J., Vehicle-Wheel, US Patent 1305535 (1919).
- [9] Byun, K.S. and Song, J.B., “Design and Construction of Continuous Alternate

Wheels for an Omnidirectional Mobile Robot”, *Journal of Robotic Systems*, Vol. 20 (2003), pp. 569–579, doi: 10.1002/rob.10107.

[10] Komori, M., Matsuda, K., Terakawa, T., Takeoka, F., Nishihara, H., and Ohashi, H., “Active Omni Wheel Capable of Active Motion in Arbitrary Direction and Omnidirectional Vehicle”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 10, No. 6 (2016), p. JAMDSM0086, doi: 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0086

[11] Ilon, B.E., Wheels for a Course Stable Self Propelling Vehicle Movable in Any Desired Direction on the Ground or Some Other Base, US Patent 3876255 (1975).

[12] Blackwell, M., “The Uranus Mobile Robot”, *Technical Report*, CMU-RI-TR-91-06 (1990), Carnegie Mellon University.

[13] Noda, S., Kunii, H., Yaginuma, M., and Yamanobe, K., “Mecanum Crank: A Novel Omni-Directional Vehicle Using Crank Leg”, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (2021), pp. 6919–6924, doi: 10.1109/ICRA48506.2021.9560834.

[14] West, M. and Asada, H., “Design and Control of Ball Wheel Omnidirectional Vehicles”, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (1995), pp. 1931–1938, doi: 10.1109/ROBOT.1995.525547.

[15] Ok, S., Kodama, A., Matsumura, Y., and Nakamura, Y., “SO(2) and SO(3), Omni-Directional Personal Mobility with Link-Driven Spherical Wheels”, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (2011), pp. 268–273, doi: 10.1109/IROS.2011.6095179.

[16] Tadakuma, K., Tadakuma, R., and Berengeres, J., “Development of Holonomic Omnidirectional Vehicle with “Omni-Ball”: Spherical Wheels”, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (2007), pp. 33–39, doi: 10.1109/IROS.2007.4399560.

[17] Han, F., Yamada, T., Watanabe, K., Kiguchi, K., and Izumi, K., “Construction of an Omnidirectional Mobile Robot Platform Based on Active Dual-Wheel Caster Mechanisms and Development of a Control Simulator”, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 29 (2000), pp. 257–275, doi: 10.1023/A:1008185917537.

[18] Pin, F.G. and Killough, S.M., “A New Family of Omnidirectional and

Holonomic Wheeled Platforms for Mobile Robots”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 4 (1994), pp. 480–489, doi: 10.1109/70.313098.

[19] Ye, C. and Ma, S., “Development of an Omnidirectional Mobile Platform”, *Proceedings of International Conference on Mechatronics and Automation* (2009), pp. 1111–1115, doi: 10.1109/ICMA.2009.5246079.

[20] Yamada, N., Komura, H., Endo, G., Nabae, H., and Suzumori, K., “Spiral Mecanum Wheel Achieving Omnidirectional Locomotion in Step-Climbing”, *Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* (2017), pp. 1285–1290, doi: 10.1109/AIM.2017.8014195.

[21] Siegwart, R., Nourbakhsh, I.R., and Scaramuzza, D., *Introduction to Autonomous Mobile Robots, 2nd ed.* (2011), MIT Press.

[22] 日本機械学会編, JSMEテキストシリーズ 機構学 (2007), pp.1–18, 日本機械学会.

[23] Terakawa, T., Komori, M., Matsuda, K., and Mikami, S., “A Novel Omnidirectional Mobile Robot with Wheels Connected by Passive Sliding Joints”, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 23, No. 4 (2018), pp. 1716–1727, doi: 10.1109/TMECH.2018.2842259.

[24] Terakawa, T., Komori, M., and Fujimoto, K., “Control of an Omnidirectional Mobile Robot with Wheels Connected by Passive Sliding Joints”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 13, No. 1 (2019), p. JAMDSM0006, doi: 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0006.

Profile

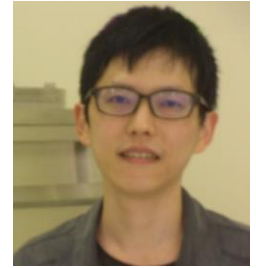
京都大学工学研究科機械理工学専攻機構運動工学研究室 助教

1991年、京都市に生まれる。2014年、京都大学工学部物理工学科を卒業。2016年に同大学工学研究科機械理工学専攻修士課程修了。2019年、同大学工学研究科機械理工学専攻博士課程ならびにデザイン学大学院連携プログラム修了後、博士号取得。2019年から京都大学工学研究科助教。

研究室HP : <http://www.mefd.me.kyoto-u.ac.jp>

わたしの仕事（45）大阪真空機器製作所

角谷仁郎（H30/2018卒）



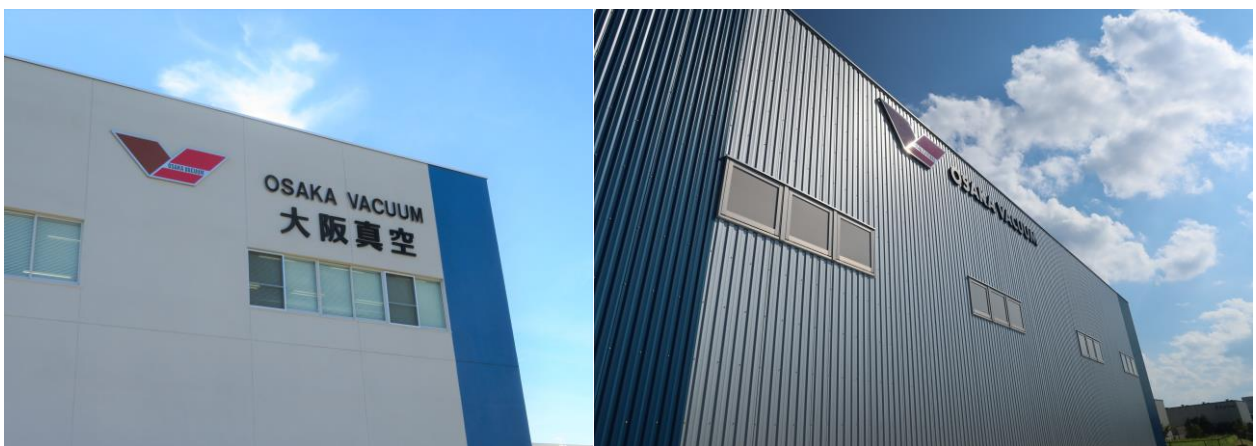
1. 自己紹介

京都大学工学部物理工学科入学、機械システム学コースに進み、光工学研究室（蓮尾研）に配属。工学部卒業後、大阪真空機器製作所入社。

2. 会社紹介

私が働いている大阪真空機器製作所（以下、大阪真空）は、真空ポンプを中心に真空機器の開発・製造を行う会社です。

日常生活では馴染みがないと思われる真空技術ですが、産業においてはあらゆるプロセスで必要となる重要な技術です。大阪真空は真空装置全般を手掛けており、超高真空ポンプを中心に総合的な取り扱い品目を活用した提案力が強みです。ここ数十年間、世界の真空産業はより大きな産業に属するサブシステムの1つへと変化する傾向が強まっている中で、大阪真空は数少ない「真空専門会社」です。お客様への要求に対応できる会社として維持・発展していくことは重要な社会貢献であると捉えています。これらを支えるために、大阪真空は「超高真空」「高速回転」「流体」「軸制御」を基幹技術としており、これらを利用したターボ分子ポンプというポンプが現在の主力商品になっています。



職場の名張工場

3. ターボ分子ポンプ

ターボ分子ポンプとは、タービン翼が高速回転して高真空を作り出すポンプで、日本国内では1971年に先駆けて開発に成功し、現在の主力商品になっています。

気体分子は熱運動によって空間を飛び回っており、その平均速度はほぼ音速、つまり数百メートル毎秒程度です。この熱運動の速度に対してタービン翼の速度が無視できないほど大きくなると、分子が翼に当たって反射する現象や翼の間の通過等の現象に、翼の速度の影響が現れてきます。このような現象を利用したのがターボ分子ポンプです。

分子の密度が一定以下になり、分子同士の衝突よりも壁との衝突の方が支配的になった圧力領域を分子流領域といいます。分子流領域において、ある翼角度をもったタービンが高速で回転すると、その翼速度が分子の平均速度に近い場合、翼に衝突した気体分子に一方向の運動エネルギーを与えることになります。これによって気体は一方向へ向かって圧縮され、タービン翼が多段であれば翼の段数の累乗分の圧縮率を持つこととなります。ターボ分子ポンプは上記の原理を利用した、分子流領域における圧縮器であり、粘性流領域をカバーするポンプと直列に運転することで超高真空までの真空域で動作できる機械ポンプです。



磁気軸受形ターボ分子ポンプ



ターボ分子ポンプのロータ

4. 入社の動機

大阪真空は大学時代の先生に紹介された会社のうちの一つでした。私としてはもともと、「ものづくりに関わるもの」を作る仕事がしたいという希望があり、メカトロニクス製品であるターボ分子ポンプとというのはメーカー向けの製品なので興味を持っている対象に該当していたので採用選考に参加しました。採用選考にて実際に工場を見て回り、その技術力の高さを確認したことと、先輩社員の方々の話を聞いたことで自分に合っていると感じたため、この会社で働くことに決めました。

5. 仕事内容

私は入社以来、開発部に所属し、大阪真空の主力製品であるターボ分子ポンプの設計と試験に取り組んでいます。開発部の主要な仕事は、お客様の要求仕様に従い、ポンプの排気性能、重さ、大きさなどのスペックを満たすポンプを設計することです。

私が最初に取り組んだ案件では、ポンプのおおまかな構造の設計は、前任の先輩社員が行っていました。私の役割は、主に性能の計算とそれを実際の図面に落とす作業でした。ポンプが要求されるスペックを満たすことができるかどうかを性能計算によって確認した上で、応力や熱による変形の計算をして問題が発生しないかを確認します。ターボ分子ポンプは精密機械であり、mm以下の精度が求められるため、回転中の翼が変形して静止中の部品と接触してしまえば一発で壊れる可能性があるからです。

図面を作成する際、部品が実際に製造可能かどうか、またもっと簡単に製造できる方法がないかを検討するため、必要に応じて現場の専門家に相談します。私たちの仕事場は、工場と同じ建物内にあるため、何か相談事があるたびに現場の意見を聞くことができ、その助けは大いに役立ちます。

図面が完成し、部品が調達されると、それらを組み立てて試運転を行います。ターボ分子ポンプは非常に精密な機械であり、設計がわずかにずれただけでもアンバランスによる軸振動などによって正常に動作しなくなることがあります。そのため、装置が設計通りに運転できたときには非常に大きな達成感を感じます。

試運転の後に、ポンプが仕様通りの性能を発揮できるかどうかの性能試験を行います。仕事として、組み立てや性能試験等、実物のポンプに触ってする作業も

多いです。設計から完成までの間、綿密な計画と慎重な検証を必要としますが、出来上がったものが机上で計算していた通りに性能を発揮したときには仕事のやりがいを感じます。

実際にはそれほどうまくいかないこともあります。性能については組立時に大気が侵入するリーク経路が残っていたりすると想定通りの性能が出ませんし、ポンプ駆動用のコントローラ絡みでも、想定通りに動かない場合には、原因を調べるためのトライ&エラーの繰り返しになります。例えば、過去にはポンプ側に問題がないのにコントローラが誤エラーを検知してしまってポンプが動かさないという不具合がありました。この時は原因を突き止めるために、ポンプだけを交換する、コントローラの基板一つだけを交換する、基板の回路の一部だけを切断する、等を順番に試してエラー検知の有無を調べました。最終的には基板上のある素子の温度が上がって素子実装用のはんだが剥がれかけて、エラーの検知が正常にできなくなっていたことが原因であったと分かり、温度の対策を講じることになりました。

経験豊富な先輩たちにアドバイスを受けながら、常に試行錯誤を繰り返して一つ一つ課題をこなしています。そこが苦勞する部分でもありますが楽しい部分でもあります。

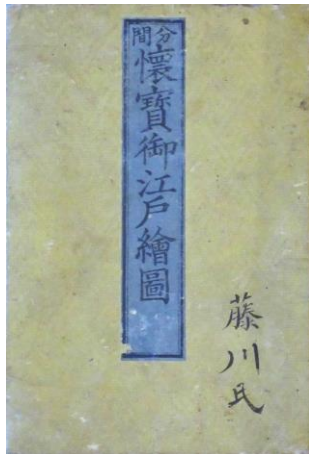
6. 最後に

私は大阪真空機器製作所に入社してから、5年間で様々なことを学んできました。しかし学生時代に学んだことも決して無駄になっておらず、力学系の知識や、電子回路、ソフトの使い方やプログラミングの技術、何より分からないことに対して一つ一つ取り組んでいく研究の経験は確実に仕事において役立っています。直接的に仕事に結びつくわけではなかったとしても、将来何が役立つかは分からないので、学生のうちからどんなことでも貪欲に学んでいくことをお勧めします。

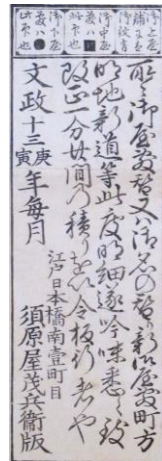
文政／令和・江戸／東京散歩（その1） 江戸城・皇居

藤川卓爾（S42/1967卒）

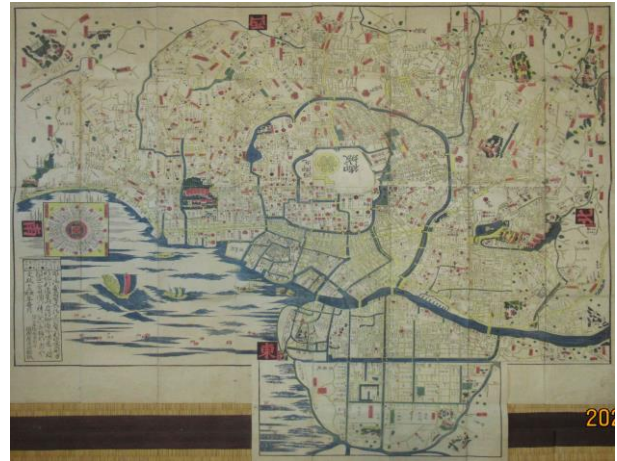
我が家に文政年間の江戸の地図が残っている。



表紙



発行記述



江戸の地図

文政十三庚寅（1830）年に江戸日本橋南壹町目の須原屋茂兵衛が発行したもので「分間 懷寶御江戸繪圖」とある。文政十三年は12月に改元されて天保元年になっている。

「発行記述」を知人の今井 元氏に解読してもらった結果は次のようである。

- * 右上の部分 御上屋舗（かみやしき）には御紋有
- * 中上の部分 御中屋敷（なかやしき）ハ■此印也
- * 左上の部分 御下家敷（しもやしき）ハ●此印也
- * 本文 所々御屋敷替、又ハ御名の替り新御屋敷・町方明地・新道等、此度明細遂吟味、悉く致吟味を遂げ、一分廿間の積りを以、令板行者也

15 分間懷寶御江戸繪圖 - 東京大学附属図書館によれば、

「題簽に懷寶とあるように携帯用として作られたものである。折りたたむと12×17cmとなる。須原屋茂兵衛は武鑑及び江戸繪圖を元禄の頃より多数刊行している江戸有数の版元である。刊記によれば「所々御屋敷替又は御名の替り新御屋敷町方明地新道寺此度明細遂吟味悉致改正一分廿間の積りを以令板行者也」とあり20間を1分に縮尺（12,000分の1）しており、大名、旗本の上屋敷は家紋、中屋敷は■、下屋敷は●で表示している。毎月とあるので屋敷替など変更のあるごとに毎月刊行の予定だったようである。海には千石船、屋形船、釣り舟等様々な船が描かれている。（図名は題簽による。）」とある。

今から約200年前のものであるが、この地図をもとにして現在の東京を探訪して過去と現在を比較してみたい。

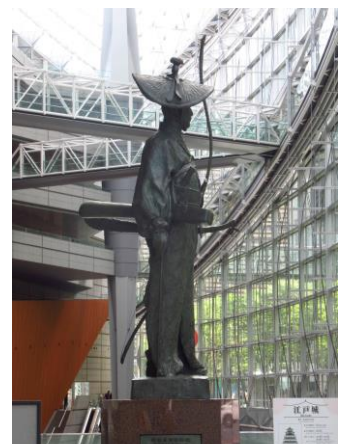
「江戸」(2023年7月11日18時(日本時間))「ウィキペディア日本語版」から要約すれば、江戸の歴史については次のようである。

「江戸」という地名は、鎌倉幕府の歴史書『吾妻鏡』が史料上の初見で、およそ平安時代後半に発生した地名であると考えられている。地名の由来は諸説あるが、江は川あるいは入江とすると、戸は入口を意味するから「江の入り口」に由来したと考える説が有力である。また、「戸」は港町の名称に用いられる例が多いことから、「江の港」とする説もある。あるいは、江戸の近郊にあったとされる今津・亀津・奥津という地名が、現在では今戸・亀戸・奥戸と称されていることから、「江の津」とする説もある。当時の江戸は、武蔵国と下総国の国境である隅田川の河口の西に位置し、日比谷入江と呼ばれる入江が、後の江戸城の間近に入り込んでいた。」

江戸と言えば、太田道灌が思い浮かぶ。

「太田道灌」(2023年8月28日9時(日本時間))「ウィキペディア日本語版」から要約すれば、太田道灌については次のようである。

「道灌は、江戸氏の領地であった武蔵国豊嶋郡に江戸城を築城した。江戸城が完成して品川から居館を遷したのは、長禄元年4月8日(1457年5月1日)であったと言われている。」



東京国際フォーラムの
太田道灌像

ある日、鷹狩に出かけた道灌はにわか雨に遭い、蓑を借りようと農家に立ち寄った。出てきた娘は花が咲いた一枝の山吹を差し出した。後で、兼明親王の歌「七重八重花は咲けども山吹の実の一つだになきぞ悲しき」に掛けて、貧しく蓑(実の)ひとつ持ち合わせがないことを奥ゆかしく答えたのだと知った道灌はそれ以後は歌道に励み、歌人としても名高くなったという。」

江戸が発展したのは、徳川家康が江戸に入り、慶長8(1603)年に征夷大將軍になり、幕府を開いたことによる。家康は天正18(1590)年7月の北条氏降伏後、秀吉の命令で、関八州に移封された。

「江戸」(2023年8月28日14時(日本時間))「ウィキペディア日本語版」から抜粋すれば、江戸の範囲については次のようである。

「江戸時代初期における江戸の範囲は、現在の東京都千代田区とその周辺であり、江戸城の外堀はこれを取り囲むよう建造された。明暦の大火以後、その市街地は拡大。通称「八百八町」と呼ばれるようになる。文政元（1818）年、朱引の制定によって、江戸の市域は初めて正式に定められることになった。今日「大江戸」としてイメージされるのは、一般にこの範囲である。」



江戸中心部の主要な門と橋、寺社

青部分は江戸を敵から守る堀と神田川、隅田川
 <Wikipedia江戸>

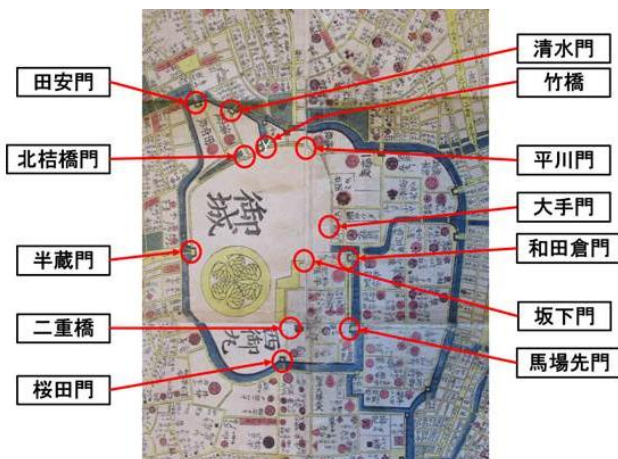


江戸中心部（前掲の Wikipedia の地図に対応する部分）

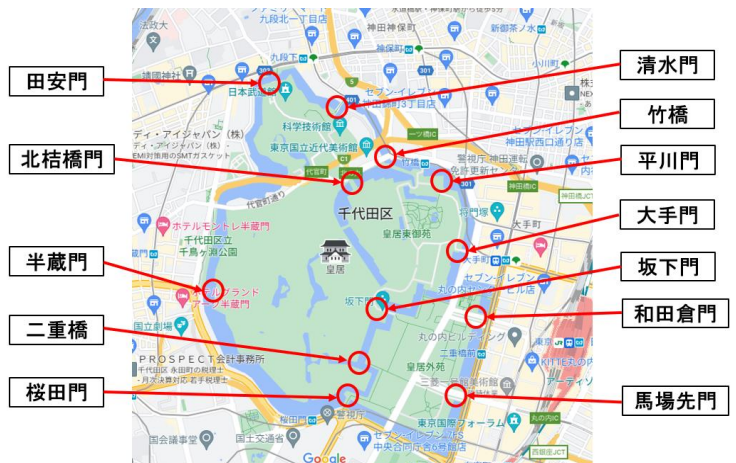
江戸の中心は江戸城である。明治になって皇居となった。

官軍は慶応4年3月15日を江戸総攻撃の日と定めた。しかし、旧幕府陸軍総裁の勝海舟と東征軍参謀である西郷隆盛との会談が実現し、江戸城の無血開城が決定した。明治元（1868）年4月11日、江戸城は明治新政府軍に明け渡された。江戸が東京になったのは慶應4（明治元：1868）年7月17日である。

明治2（1869）年、東京奠都、皇城と称され、明治21（1888）年、明治宮殿の完成によって宮城（きゅうじょう）と称されるようになった。



江戸城中心部



Google Map による現在の皇居周辺部

筆者は江戸城／皇居の正門は二重橋だと思っていたが、それは明治になってからで、江戸時代は大手門が正門である。東京のビジネス中心街の大手町の名前はここから来ている。



大手門



皇居東御苑の案内板(上が北)

現在では、皇居の旧本丸と二の丸、三の丸が皇居東御苑として開放されており、大手門、平川門・北桔橋門(きたはねはしもん)から入ることができる。

皇居東御苑には、同心番所や大番所、百人番所が残っている。江戸城の天守閣は初代家康、二代秀忠、三代家光がそれぞれ建造した。秀忠、家光とも先代を超えたくてより大きな天守を建て直した。家光の天守は明暦の大火（1657年）で焼失し、再建を目指して天守台が築かれたが、太平の世に天守は不要との結論となった。天守台前には本丸御殿があった。現在では芝生緑地になっている。本丸御殿は公的空間の「表」、将軍が日常生活をする「中奥」、正妻や家族、女性たちの「大奥」に分かれていた。忠臣蔵で有名になった「松の大廊下」は「表」にあった。本丸には富士見多間と富士見櫓が残っている。



大番所



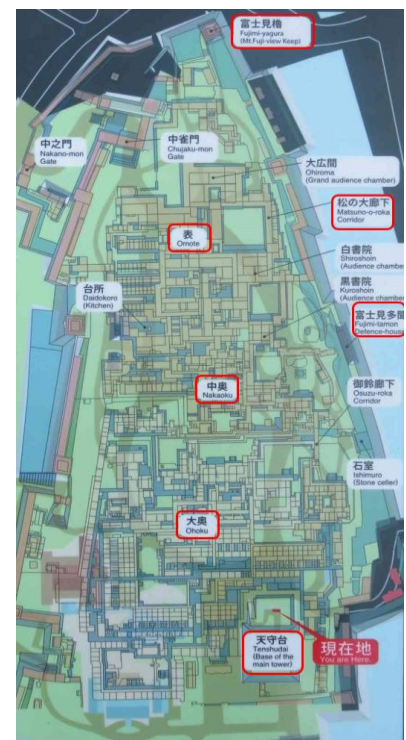
百人番所



江戸城天守台



本丸御殿跡と大手町ビル群



本丸御殿



富士見櫓



皇居二重橋

大手門から時計回りに内堀を巡ってみる。大手門のすぐ南の和田倉門のところに和田倉噴水公園がある。昭和36（1961）年に上皇陛下の御結婚を記念して創建された大噴水を平成5（1993）年の今上陛下の御結婚を機に再整備したものである。

江戸時代の地図には堀が描かれておらず、石垣だけ描かれているが、桔梗門、坂下門と辿っていくと二重橋に至る。ここは現在では皇居正門石橋と皇居正門鉄橋（この橋が二重橋）の二つの橋がある。

皇居前広場には昔は大名屋敷が建ち並んでいたが、現在は皇居外苑として砂利が敷き詰められた広場と松の木が植えられた公園になっている。この東南隅に楠木正成像がある。この像は、別子銅山開坑200周年事業として住友から宮内庁に献納され、明治33（1900）年に竣工した。別子銅山の銅を使い、製作は岡倉天心が校長を務めていた東京美術学校（現在の東京藝術大学の前身）に依頼され、高村光雲が頭部を担当した。



皇居前広場と丸の内のビル群



楠木正成像

桜田門は内堀の南側中央部にある。桜田門の西側から西北に伸びる桜田堀は天然の堀である。万延元（1860）年3月3日、この門外で幕府大老井伊直弼が水戸藩脱藩士によって暗殺された。明治7（1874）年の創立以降、桜田門外には警視庁本部庁舎が置かれている。



桜田門



桜田堀

半蔵門は内堀の西側にあり、甲州街道の起点になっている。名前の由来は伊賀者の服部半蔵がこの辺りに屋敷を拝領していたからという説がある。皇室の皇居への通用門として使用されている。明治5（1872）年以降、半蔵門の西北側に英国大使館が置かれている。



半蔵門



千鳥ヶ淵



田安門



牛ヶ淵

半蔵門からさらに北に行くと、千鳥ヶ淵を経て田安門に到る。田安門は北の丸の北側の入口である。昭和39（1964）年、田安門の内側に東京オリンピックの柔道競技場として日本武道館が建設された。田安門の東側の堀は牛ヶ淵と呼ばれる。鈴木理生、鈴木浩三共著「ビジュアルでわかる江戸・東京の地理と歴史」（日本実業出版社）によれば、千鳥ヶ淵と牛ヶ淵は両方とも、飲料水確保のために川や湧水を人工的にせき止めて作られた貯水池であった。

保のために川や湧水を人工的にせき止めて作られた貯水池であった。



北桔橋門



竹橋



平川門

牛ヶ淵の東南側に清水門があり、その東南に清水濠がある。清水濠の南端は竹橋である。本丸と北の丸の間には高い台地を堀込んだ堀があり、ここに北桔橋門がある。この門の前の橋は有事にははね上がる構造になっていた。竹橋の外側には、昭和41（1966）年に毎日新聞社本社ビルが建設された。

竹橋の東側に平川門がある。堀の外側から平川門を眺める場所に和気清麻呂像がある。この像は昭和15（1940）年に皇紀2600年を記念して建造された。東京の中心部である旧江戸城本丸・二の丸・三の丸・西の丸すなわち現在の皇居の周辺を探访した。かつての大名・旗本屋敷群が高層ビルのオフィス群に変貌しているが、堀や橋、門は昔の名残を良く留めている。



和気清麻呂像

つづく

2024年度 京機会総会開催のご案内

下記の通り開催いたします。出席下さいますようご案内申し上げます

総会・講演会は、オンラインでも参加いただけます。多くのご参加をお待ちしております。

I) 日 時:2023年11月5日(日) 11:00~15:45(終了予定)

II) 会 場(現地):

< 総会 Part1・特別講演会 > 京都大学吉田キャンパス物理系校舎 3F 313室
(Zoomを用いたオンライン配信もいたします)

< 総会 Part2・懇親会 > 京都大学百周年時計台記念館 2F「国際交流ホールⅠ・Ⅱ」
〒606-8501 京都市左京区吉田本町 電話:075-753-2285(百周年記念館)

III) 行 事: 10:30~ 受 付 (物理系校舎 3F 313室前)

1. 京機会総会 (Part1) 11:00~11:40

1) 開会の辞 2) 会長挨拶 3) 活動報告および議案審議 4) 質疑応答 5) 中締め

2. 特別講演会 11:45~12:45



『 日立鉄道事業の海外展開 (Class 395 (CTRL-DS) の開発) 』

正井 健太郎 氏 < 1982卒、(株)日立製作所 エグゼクティブアドバイザー >

(株)日立製作所における鉄道事業は歴史ある事業だが国鉄民営化後は国内中心の事業であった。その鉄道事業が英国における初の高速鉄道プロジェクトCLASS395の受注に成功し、そのプロジェクトの成功を足掛かりに英国ビジネスを拡大させ海外企業の買収を通じて事業の海外展開で大きな成長を遂げ、日立のグローバル化へのフロントランナーとなった過程をCLASS395の開発内容を中心に紹介する。



3. 京機会総会 (Part2) ・ 懇親会 13:00~15:45

1) 京機会年間活動優秀賞表彰式 2) 支部報告 3) 閉会の辞
4) 懇親会 5) 琵琶湖周航の歌 6) 記念撮影



ランチ懇親会

4年ぶりの対面懇親会開催です。今回は、少し広めの会場と長めの時間設定にて皆様がゆっくりご歓談いただける空間と時間をご用意いたします。



また、当日、各地域でのお奨めの美味しい「日本酒」も会場でご提供できるよう計画しております。

IV) 総会 (Part2) ・ 懇親会参加費: 会員 7,000円 ご家族 3,000円 学生 3,000円

● 総会 (Part1) ・ 特別講演会は、対面参加・オンライン参加共に無料でご参加いただけます。

V) 参加申込締切: 10月25日(水)

● 京機会HP (<https://keikikai.jp/>) からの参加申込をお願いします。



● 2024年度京機会総会は、京都大学同窓会の共催にて開催いたします。