

日本の製図維新 前夜 / アメリカ GD&T 留学記 *
 — 続編 真に正しい図面を求めて、日本は何ができるか —

鈴木 伸 哉*¹

On the Eve of the Drawing Revolution in Japan
 —2nd Report of GD&T Studying Abroad in America—

SUZUKI Shinya

キーワード : Geometric Dimensioning and Tolerancing, Maximum Material Requirement

1. ま え が き

著者は、国立高専機構の在外研究員として、Geometric Dimensioning and Tolerancing (以後 GD&T と略す) を習得・研究するために、2017 年 8 月 16 日から 7 ヶ月の日程で、University of North Carolina at Charlotte¹⁾ (以後 UNCC と略す) の Edward P Morse (モールズと読む) 教授のもとで学ぶ機会を得た。在外研究期間の最初の 1 年半ほどの内容 (前編と呼ぶことにする) を設計工学会誌に掲載する機会に恵まれ、その後、続編を望む声をいただき、紀要にそれを記すことにした。前編²⁾では、在外研究員に応募した経緯、UNCC の紹介、製図の『精神と時の部屋』と名づけた孤独な 3 週間、日本語学科の授業参観、Bryan Fischer 氏との出会い、わかりはじめた³⁾の意図、サイズ形

体の区別に関する議論について記述した。本編は、そこからの続編である。

2. 研究室に見知らぬ男がいた

GD&T の研修を受けてポートランドから帰り、UNCC の研究室に行くと、施錠してあったはずの研究室に一人の男がいた。アメリカでこれといった犯罪に巻き込まれたことがない私にとっては、ついに来たかと思った。研究室にいたのは、デンマークの大学のポスドクをしている Danilo (ダニーロ) というイタリア人だった。要は相部屋ということで、一人で寂しい思いをしていたので、ちょうど良かった。Danilo がビュッフエスタイルの学食につれて行ってくれたり、図 1 に示す素敵散歩道を教えてくれたりした。Danilo は 3 カ月ほど UNCC に滞在した。

3. ASME の製図会議

Morse 教授の勧めで、ASME (アメリカ機械学会) の製図規格 Y14.5 の会議に参加することになった。Morse 教授も何日か参加するが、全部の日程は参加できないとのことで、別々の飛行機で行くことになった。特にエントリーをする必要があるわけでもなく、部屋の後ろの方で座っていればそれでいいとのこと。ただ、この会議には、ポートランドで友人になった Fischer 氏も参加するとのことで、知った人がいて助かった。

アメリカは、ディメンショナルエンジニアが多い。ディメンショナルエンジニアとは、製図や公差解析を行う専門家で、独立して会社を興している Fischer 氏のような人もいれば、会社の中でのディメンショナルエンジニアとして活躍している人もいる。日本



Fig. 1 Beautiful Wood-Bridge and Student Union

* 設計工学 53 巻 1 号, 紀要第 52 号の続編

*1 電子制御工学科准教授

原稿受付 2019 年 5 月 20 日

にはどれぐらいいるだろうか。私が知っている限り、独立して会社を興している人は数名ではないだろうか？アメリカでは、そういったディメンショナルエンジニアたちが、2年に4回ほど集まって、各々3日半もの長い日程で議論を行う。自然に顔見知りになるわけである。何人かと名刺交換をしたが、GD&Tに関する著書として、すでに名前を知っている人が多かった。私が以前にASMEのE-learningで質問状を出したMcCuiston氏にここで会ったのは、今思えば偶然ではなかった。

会議は、朝8時から8時半から夕方5時まで行われた。会議には誰でも参加でき、委員は20人ぐらいで、前方のコの字に並んだ机に座る。委員外の方は、その後ろの席に座る。委員と委員外の人を合わせると、50人ぐらいになる。会期の後半になると、少しずつ人数が減っていった。会議が公開されているのに加えて、面白いと思ったのは、委員以外にも発言権があるということである。また、長丁場なので、途中で会議を抜けたり、コーヒーを飲んだり、ケーキを食べたりするために席を立つことが許されている。日本で会議を中座するのは、急な仕事かトイレ以外では考えにくいですが、ASME式の方が長丁場に耐えられそうである。

友人になったFischer氏は、落ち着きなく立ったり座ったりするが、しっかりと意見することも多かった。また、Fischer氏は会期の後半になると来なくなつた。Boredと言っていた。彼は論理に優れたところと、適度に陽気な感じをほどよくもっている。

さて、議論の内容は様々なメーカーからの質問状を1つ1つ議論する。一体いくつあるか分からないが、会期内にすべてが終わったとは思えない。会議の中で、新しい記号についての議論がいくつかあった。たとえば、Dynamic Profile, Dynamic symbol, 記号にすると白抜き三角(△)である。他にもPLTZF, FRIZFという言葉もよく聞かれた。何の略字かしばらくわからず、プレッツなどまるで菓子のような名前であるが、どうやら、Pattern Location Tolerance Zone Featureの略字のようである。議論の内容は会話が早すぎて私には聞き取ることができなかった。そして、面白かったのは、いまだ、円錐のような基本的な形体でさえまだ議論が尽くされていないことである。どうやら、すでに述べたDynamic Symbolが円錐に付加されたときに問題が起こるようで、委員が口々に、"Puzzle"と言っていたのが印象的だった。

どの国でも変わらないが、意見の対立があつて結論を下しづらいうことが多いようであった。ただ、結

論を下す以外に、この交流には別の利点があるように思えた。それは、この会議が参加者の考えをある程度まとめ、共有する機会になっていることである。誰かが発言しているときに、考えがずれていると、周りの人がNo, Noと言い、逆に良い意見や正しい発言には、周りの人がYes, Yesと言う。そのようなことをしているうちに、標準に書かれていること以外の、まだ明らかにされていない原理のようなものを共有しているように思える。

日本では、アメリカのように学会が主体となつておらず、別に委員会を設けているという違いがあつて、誰でも製図規格の議論を傍聴したり、ましてや意見したりすることができるわけではない。そもそも、誰がいつどこで議論しているかさえ、一般の人の知るところにない。ただ、委員会は傍聴を拒んでいるわけではないので、依頼をすれば、傍聴する機会に恵まれることもある。私はかつて、日本規格協会の講習に参加したときに、講師の方の紹介で、JIS B 0420-1の会議を傍聴したことがある。そのときに、この留学先を紹介して下さった金田教授に出会った。日米では開催の形態が異なるため、ASMEのように公開、ましてや傍聴者が意見するには支障があると推測するが、せめて傍聴に関しては、GD&Tの普及につながる可能性を秘めているので、検討の余地があると思った。ハンドブックになつたJISを読んだり、書籍を読んだりするだけでは、規格が制定された経緯、問題、アイディアなどを掴みづらい。JISの冊子の解説には、規格制定の経緯が書いてはあるものの、それを一般の人が読むのは規格が制定された後のことである。そして、残念ながら、解説はハンドブックには記載されていないことから、必ずしも多くの技術者が解説を読むとは限らない。何も知らない技術者や製図の教員、ましてや学生にとっては、たとえば、寸法公差がサイズ公差に変われば、寝耳に水というわけである。ISO/ASMEがこれまで何を議論してきたか、これから、何を議論していくかという流れが見えてくると、多くの人の理解が深まるのではないのかと思った。

そして、日本の数少ないディメンショナルエンジニアが規格の会議とはあまり関りをもっていないところに違いを感じた。日本は、独立して起業するという風潮があまりないから、ディメンショナルエンジニアがあまり増えないのかもしれない。とにかくアメリカの図面が日本に比べて進んでいる大きな要因は、ディメンショナルエンジニアの存在に他ならないと感じた。

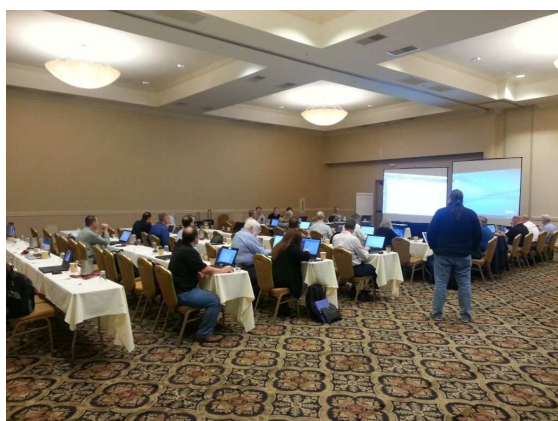


Fig. 2 ASME Meeting in San Diego

4. 提案・GD&T 適塾

3章ではASMEの製図会議の良い点を述べてきたが、それでは、学会がどのような役割を担えるのかという提案をASMEの会議期間中に考えてみた。随筆の域を超えているかもしれないが、雑感と捉えていただき、更なる妙案の材料としてほしい。

これまで設計工学会では、幾何公差セミナーを行ってきている。これは、幾何公差の概念や規則を教えるもので、はじめに学ぶべき重要な基礎である。しかし、これだけで、GD&Tを正しく用いた図面が描ける教育ができたとは限らない。通常、実際に図面を描いてみて、不足点や誤りを指摘され、改めて規則を読み直すといったフィードバックがなければ、受講者は、図面を描くことができない。前報で例えて述べたように、文法を習っただけではよい文章が書けないのと同じである。このような実技的な技術の習得は、恐らく1人の講師と多数の受講者という形態では成立しない。

そこで、幕末の適塾風にしてみたらどうであろう。適塾とは、幕末の大阪で開かれた蘭学の私塾で、ここでは、蘭書の輪講を行っていて、順に質問をして答えられれば点をつけ、月末に総合点の高いものを上級の学級に昇級させる。適塾は福沢諭吉や大村益次郎のような人物を輩出した。当時の適塾とまったく同じ形式をとらないにしても、1つの部品を提示して、皆が自分で描いた図面を持ち寄り、論評しあう機会を春や秋の大会に併せて行ってみたいだろうか。図面・幾何公差に興味のあるエンジニアは多いはずである。設計工学会の会員を増やす機会にもなるかもしれない。

そして、独立・開業するディメンショナルエンジニアが日本の就職の形態になじみにくいという問題

に対しては、退職を控えた熟練のエンジニアに焦点をあててはいかがだろうか。熟練エンジニアがディメンショナルエンジニアとして独立開業すれば、その中には、その子に後を継がせる人がでてくるかもしれない。アメリカには、Neumann氏のように、親子でディメンショナルエンジニアをしている人たちがいる。

5. GD&Tの公差解析の講習

サンディエゴの会議の後、直接ポートランドへ向かい、Fischer氏の2回目の講習を受けた。1回目の講習では、概念や規則を教える講習であった。

2回目の講習では主にASME Y14.5-2009規格の付録B³⁾にある位置度公差の式(浮動する締結部材の式と固定された締結部材の式)についての解説と、図面に公差を設定する実技があった。これらの式は、たとえば、ねじで部品を固定する際に、ねじを通す穴の位置度公差やサイズ公差をどのように設定すべきかを与える式で、非常に単純な和と差の式である。ところが、実際に図面を描く実習になると、冷静に考えなければ誤ることもしばしばあった。

3回目の講習は、公差の累積を計算する内容で、日本でもなじみのあるWorst-caseとRoot sum squareを主に扱うが、Fischer氏の講習は、従来のいわゆる±公差で表記する方式と、幾何公差で記す方式の両方を扱うことが特徴であった。

6. 損するデータム形体シフトをなぜ使う？

アメリカの公差解析の書籍を読むと、Fischer氏以外の書籍でも、公差の累積を求める際に、データム形体シフト(JISでは浮動と呼ぶ)をその中に含めている例が見られる。データム形体シフトとは、部品を測定する際に、ピンやキーなどに部品をはめて測ると、がたが生じることを言う。このとき、幾何公差のデータム参照枠にⓂの記号が入る。測定の結果には、そのがたが含まれているので、公差の累積を求めるときに、その分だけ余裕を多く見積もる必要がある。

なぜ、アメリカでは、公差の累積を不利にするようなデータム形体シフトを公差の累積に含むのかという疑問をFischer氏に質問してみた。公差の累積を求めるのは、たいてい設計として重要なところであるはずだが、あえてこのデータム形体シフトを入れるのはなぜだろうか。Fischer氏の答えと、そこから納得した著者の考えをまとめると、どうやら、項目としては必ず挙げておく。そして重要な個所ではも

ちろんデータム形体シフトが生じる⑩を用いることをしないが、相対的に重要でない箇所には、計測を容易にするためにデータム形体シフトを許容しなければならないこともある。その場合でも、干渉が起きないように、公差の累積を求める必要があるということである。

7. サイズ公差か、幾何公差か（再）

前編²⁾で、様々な形体の例を挙げて、それがサイズ形体かどうかについて、Fischer 氏の助言をもとに判定の一覧を作ってみた。これを「サイズ形体の区別」としたが、この表現は適切でなかったかもしれない。なぜなら、ISO/JIS では円錐やくさびもサイズ形体とされており、これらは、角度に関わるサイズ形体だからである。ここでは、長さに関わるサイズ、いわゆるノギス・マイクロメータで計測し得る対象か、サイズ公差を適用するかどうかの判定法について、新たなアイデアを提案してみたい。

長さに関わるサイズは、ISO/JIS では、円筒と相対する平行 2 平面（など）である。ASME⁴⁾では、ISO の定義を拡張しているものの、それでも図 3 に挙げる多くの例を判定するのに迷いが生じる。

ここで提案する判定基準は、形体そのものを判定基準とせず、発想を転換して、形体を検査する検具の形を判定基準にする。以下にその案を記述する。

長さに関わるサイズ公差を適用すべきかどうかは、

- ・プラグゲージ
- ・リングゲージ
- ・ブロックゲージ
- ・挟みゲージ

のいずれかで安定して検査可能かどうかで判定する。なお、ゲージは一部を削り落としても構わない。図 3 に様々な形体の例と、サイズ公差を適用すべきかどうかの判定例を示す。読者諸賢は、いかにお考えだろうか。

8. 学問としての GD&T は有りや無しや

図学や製図学という言葉ある。著者の理解では、図学は 3 次元形状を 2 次元の図に表現する学問、製図学は、大西清先生の著書⁵⁾に代表されるように、図学をもとにした、部品図や組立図を描くための学問といったところであろう。そして、その流れの先に GD&T があり、そこでは、いかに寸法と公差を設定すべきか、検査時の部品の固定状態をいかに表現すべきかななどを議論している。ところがどうであろう？ 材料、振動、流体、設計を専門としている学

者は多くいても、製図や GD&T を専門としている学者は多いだろうか？ とすれば、学校教育では、製図は必ずしもその専門家でなくとも、教えることができる授業という捉え方をされていないだろうか。今思えば、学生時代の著者に製図を教えた教員は、流体が専門であった。もっとも、写図中心であれば、学問というより実習の色合いが強く、専門外の教員が担当するのも止む無しと捉えられてしまうかもしれない。

しかし、製図・GD&T には、定義の仕方や解釈などの重要な問題があり、実践的なビジネスの手段や図面を描く技術としての価値に加えて、純粋な学問としての価値がないだろうか。今一度、学問の意味を辞書で調べてみれば、「学問とは基礎から積み重ねられた、体系的な専門知識」とあり、やはり GD&T は十分学問に値するものと著者は考える。そして、GD&T は単独で授業として実施するには時間的に困難であったとしても、少なくとも設計製図の授業の中に取り込まれていかなければ、日本の図面は、いつまでも鎖国状態であろう。しかし、設計工学会所属の教員が核となり、また企業の実務家とも連携し、地道な活動を続ければ、きっと鎖国の夜は明け、維新が訪れるであろう。

謝辞

本記述は、平成 29 年度独立行政法人国立高等専門学校機構在外研究で得られた成果の一部を随筆・随想調に表現したものである。長野高専にあつては、著者が渡米の間、授業・実習・校務等で他の教員・事務職員の皆様にご負担をかけることが多く、心より感謝申し上げます。また、本記述の一部は、科研費(17K06132)の助成を受けたものである。本在外研究においては、受け入れ先をご紹介いただきました設計工学会副会長、関東学院大学の金田徹 教授に深く感謝の意を表します。さらに、受け入れ先である UNCC では、国際交流センターの Madelyn Baer 氏、加藤富美江准教授をはじめとする日本語科の先生方、相部屋だった Danilo Quagliotti 氏、さらに North Carolina の暮らしのサポートをしていただきました Mark Johnson & Midori Johnson 夫妻に心より感謝を申し上げます。ポートランドの GD&T Seminar では、受講のきっかけやサポートをいただきましたサイバネットシステム株式会社の萩原あづみ様、同社顧問で TDME 合同会社の高島淳一様、Sigmatrix 社の Dave Treanor 氏、Daimler Trucks North America の Darren Huddleston 氏に感謝の意を表します。サンデ

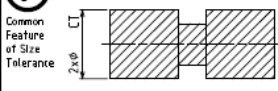
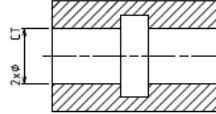
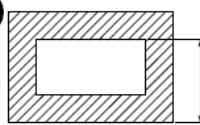
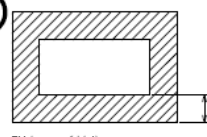
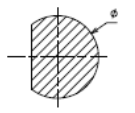
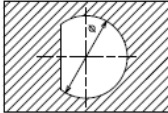
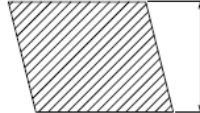
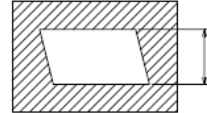
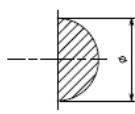
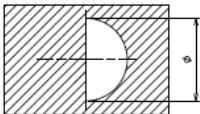
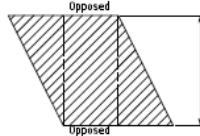
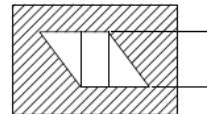
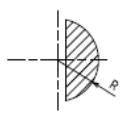
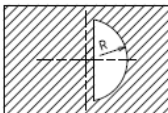
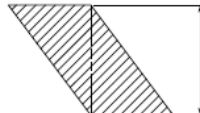
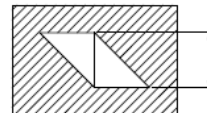
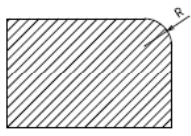
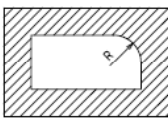
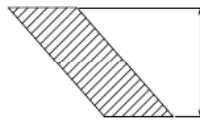
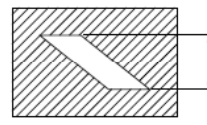
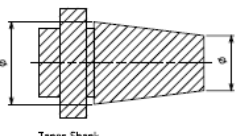
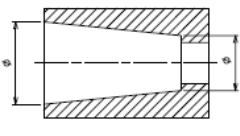
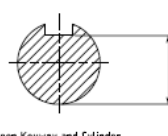
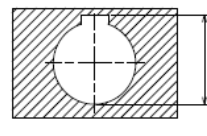
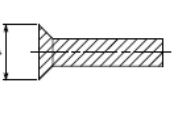
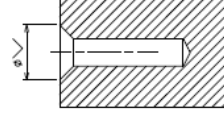
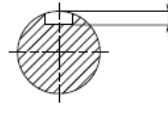
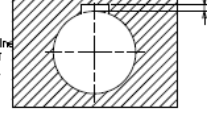
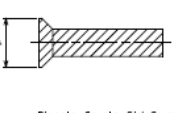
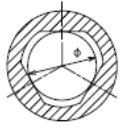
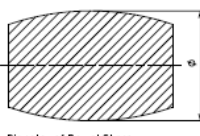
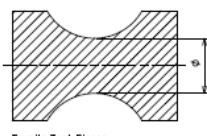
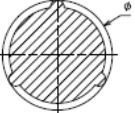
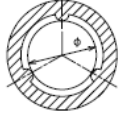
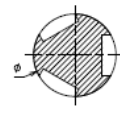
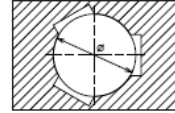
	Positive, Additive	Negative, Removal	Positive, Additive	Negative, Removal
<p>✓ Common Feature of Size Tolerance</p>  <p>Cylindrical Surface Divided by Groove</p>		<p>✗ Parallel But Not Opposed Surface</p> 	<p>✓ Thickness of Wall, Partial Opposed Parallel Plane</p> 	
<p>✓ Larger >180deg Arc May be FOS</p>  <p>Partially Cutout Cylinder (D-Cut)</p>		<p>✓ Regular FOS 2 Opposed Parallel Surface</p>  <p>Almost Opposed Parallel Plane</p>		
<p>✗ Smaller ≈180deg Arc should not be FOS</p>  <p>Half Cylinder</p>		<p>✓ Opposed</p>  <p>Opposed/Offset Half Parallel Plane</p>		
<p>✗ Smaller ≈180deg Arc should not be FOS</p>  <p>Partially Cutout Cylinder (D-Cut)</p>		<p>✗</p>  <p>Offset Parallel Plane</p>		
<p>✗ Smaller ≈180deg Arc should not be FOS</p>  <p>Typical Corner R</p>		<p>✗</p>  <p>Complete Offset Parallel Plane</p>		
<p>✗ Sharp edge can not be inspected using gauges.</p>  <p>Taper Shank</p>		<p>✓ 2 Opposed Parallel Elements</p>  <p>Between Keyway and Cylinder</p>		
<p>✗ Sharp edge can not be inspected using gauges.</p>  <p>Diameter Counter Sink Screw</p>	 <p>Diameter of Chamfer or Counter Sink</p>	<p>✗</p>  <p>Depth of Keyway</p>	<p>Virtual Point/Line can NOT be Size.</p> 	
<p>✓ Small Cylindrical Surface can be inspected</p>  <p>Diameter Counter Sink Screw</p>	<p>✓</p>  <p>Diameter of Barrel Shape</p>	<p>✓</p>  <p>Diameter of Barrel Shape</p>	 <p>Tensile Test Piece</p>	
<p>✓ Irregular FOS Contained by Cylinder</p> 		<p>✓ Irregular FOS</p>  <p>Slotted shaft</p>	 <p>Hole with slot</p>	

Fig. 3 Size tolerancing or geometrical tolerancing. (Continued)

	Positive, Additive	Negative, Removal	Positive, Additive	Negative, Removal
✓			✗ Parallel But NOT Opposed Surface 	✗
✗ Parallel But NOT Opposed Surface			✓ Partial 2 Parallel Opposed Surface 	
✗ Corner Edge can NOT be Measured			✗ Parallel But NOT Opposed Surface 	
✗ Corner Edge can NOT be Measured			✗ Parallel But NOT Opposed Surface 	
✗ Virtual Point/Line can NOT be Size.			✗ 2 Parallel Elements But NOT Opposed 	
✗ Virtual Point/Line can NOT be Size.	Chamfer with Corner R. 		✗ Corner Edge can NOT be Measured 	
✓	Chamfer with Corner R. 	✗ Corner Edge can NOT be Measured ✗ Corner Edge can NOT be Measured 	✗ Virtual Point/Line can NOT be Size. 	
✗ Corner Edge can NOT be Measured	Edge of DACH Prism (For Finder, Binoculars) 	V-Block 	✗ Corner Edge can NOT be Measured 	
✓ 2 parallel Opposed Plane Defined As Common Feature of Size tolerance	Sliding surface of lathe 	✗ Corner Edge can NOT be Measured 	✗ Virtual Point/Line can NOT be Size. 	

Fig. 3 Size tolerancing or geometrical tolerancing. (Continued)

イエゴの ASME Y14.5 の会議では Bruce A. Wilson 氏, Patric J. McCuistion 氏をはじめとする委員の皆様にお世話になりました. 感謝の意を表します. 最後に, UNCC での留学を快く受け入れてくれました Edward P Morse 教授, Dimensional Engineer の Bryan Fischer 氏とその奥様にこの場を借りて感謝の意を表します.

参 考 文 献

- 1) <https://panorama.uncc.edu/Engineering/>
(2019/5/6 確認)
- 2) 鈴木伸哉：日本の製図維新 前夜 / アメリカ GD&T 留学記 (®のこころと, サイズ形体の区別, そして真に正しい図面を求めて), 設計工学, Vol53, No.1, pp.2-9 (2018.1)
- 3) ASME Y14.5-2009 Dimensioning and Tolerancing, pp.191-192 (2009).
- 4) ASME Y14.5-2009 Dimensioning and Tolerancing, p.6 (2009).
- 5) 大西 清：製図学への招待, 理工学社 (1975)