

眼内レンズ度数計算式およびトーリック度数計算式の使用にあたって (2024年改訂第4版)

日本眼科社会保険会議眼内レンズ計算式小委員会
大鹿 哲郎, 根岸 一乃, 神谷 和孝, 柿田 哲彦

白内障術後の屈折度数ずれは、裸眼視力を低下させ、患者不満の大きな原因となる。球面值のずれ（近視、遠視）であっても、円柱値のずれ（乱視）であっても、同様である。それを防ぐためには、術前に眼軸長や角膜屈折力を含む生体計測を正確に行い、正しい度数計算式を用いて、適切な度数（球面及び円柱）の眼内レンズ（IOL）を選んでおく必要がある。

I. IOL 度数計算式

1. IOL 度数計算の基本

眼全体の屈折力は主に、角膜屈折力、前房深度、水晶体屈折力、眼軸長といったパラメータにより決定される。白内障手術によって水晶体が IOL に置き換えられるが、その際に何ジオプターの IOL を使用したら術後の屈折値がどのようになるのかを予測するのが、IOL 度数計算式である。上記のパラメータのうち、角膜屈折力と眼軸長は白内障術前後で変化しないと仮定し、また術後の前房深度は IOL 固定位置（effective lens position : ELP）を推測することによって算出する。それにより、希望する術後屈折値が得られる適切な IOL 度数を逆算するのである。各パラメータの測定法および ELP の推測法によって、様々な計算式が提案されている。

角膜屈折力はケラトメータ、眼軸長は光学式眼軸長測定装置（成熟白内障などのために測定不能の場合は超音波 A モード測定装置）、ELP は眼軸長や角膜屈折力等の測定値から推定する予測値を用いることが一般的である。

通常、角膜屈折力測定は、角膜前面曲率のみの測定であり、角膜後面の曲率は実測していない。平均的な角膜前後面曲率比を考慮した換算屈折率 1.3375 を用いて、角膜前面曲率から角膜全屈折力を間接的に計算している。すなわち、角膜前後面曲率比が平均から外れている眼では、角膜全屈折力の算出が不正確になってしまう。

laser *in situ* keratomileusis (LASIK) などの屈折矯正手術後眼や、円錐角膜眼などがそれに相当し、これらの眼では IOL 度数計算の精度が低い。

2. IOL 度数計算式の歴史

1967 年に Fyodorov が幾何光学の模型眼に基づいて考案した理論式が、初めての IOL 度数計算式である。主に、虹彩支持 IOL を対象としていた。その後、後房 IOL 時代を迎え、IOL 定数 (A 定数) の概念を取り入れた Binkhorst 式や SRK 式が作成され、第 1 世代計算式と呼ばれた。SRK 式は、 $P=A-0.9K-2.5L$ (P : IOL 度数, A : A 定数, K : 角膜屈折力, L : 眼軸長) で表される。ここでは術後前房深度が考慮されておらず、また一次線形回帰であったため、長眼軸眼では近視ずれ、短眼軸眼では遠視ずれを生じるなど、誤差が大きかった。

第 2 世代の SRK II 式や Binkhorst II 式では、眼軸長に応じて A 定数を補正するよう改良された。SRK II 式では眼軸長を 5 群に分け、段階的な補正を加えたが、それでも長・短眼軸眼における予測性は高くなかった。

第 3 世代の SRK/T 式, Holladay 式, Hoffer Q 式では、角膜屈折力を考慮して ELP を予測することにより、短眼軸眼や長眼軸眼においても IOL 度数予測精度が大きく向上した。なかでも SRK/T 式は術後成績の良さから世界的に広く普及し、現在でも多くの施設で使用されている。Holladay 式も理論式であるが、ELP の予測に surgeon factor (SF) という術者による経験値を使用する。Hoffer Q 式も理論式であり、ELP の予測に personal anterior chamber depth (personal ACD) という経験値を代入する。他の計算式と比較して、短眼軸長眼における予測性が比較的良好である。

第 4 世代は、術前の前房深度も計算に組み入れた Holladay II 式, Haigis 式が代表的である。Holladay II 式では、年齢、性別、角膜屈折力、角膜径、前房深度、眼軸長から、ELP を予測している。Haigis 式では、ELP を A 定数、術前前房深度、眼軸長を用いた重回帰式から算出している。世界中のユーザーがデータを持ち寄った User Group for Laser Interference Biometry (ULIB) で A 定数が最適化されていたが、Haigis の引退に伴って現在は更新が停止している。

第 4 世代以降は、第 5 世代などと表記している論文もあるが、コンセンサスは得られておらず、また様々な計算の手法が取り入れられていることから、「世代」という表現は使われなくなっている。

3. 第4世代以降の IOL 度数計算式

角膜や IOL の表面曲率、厚み、屈折率を元に Snell の法則で光線の軌跡を計算する光線追跡法が、いくつか開発されている。OKULIX 式や Olsen 式などである。大きな誤差因子となる ELP の推定が重要となるが、OKULIX 式では眼軸長からの回帰式で計算している。Olsen 式では、前房深度や水晶体厚を含んだより多くの術前データを組み込んで更なる精度向上を目指している。

近年、Barrett Universal II 式や Hill RBF 式の有用性が数多く報告されている。SRK/T 式に比較して、個々の角膜形状や眼軸長の影響を受けにくいことが知られており、特別な補正も不要であることから、臨床上的有用性が高い。Barrett Universal II 式は、ガウス原理に基づいた近軸光線による厚肉レンズ計算式で、詳細は非公表だが、角膜後面形状を反映した前眼部と眼球形状を反映した後眼部の 2 つの球体からなる光学的モデルを用いている。SRK/T 式を凌駕する計算式として人気が高まっており、広く普及している。

Hill RBF 式は、人工知能の応用である放射基底関数 (Radial Basis Function : RBF) を使った計算式である。術前生体計測データ (眼軸長、角膜屈折力、前房深度) および術後の等価球面度数を用いて学習させ、最適な IOL 度数を出力する。既知の情報とは無関係にデータだけを基準として学習する特徴を有しており、実際の IOL 度数誤差が少なくなるように、症例数を増加させて繰り返し学習を行い、予測精度を継続的に改善していくモデルである。

Kane 式は光学理論と人工知能を組み合わせた計算式で、詳細は非公開である。眼軸長、角膜屈折力、前房深度以外に、性別を考慮に入れており、オプションとして、水晶体厚、中心角膜厚を加えて予測している。円錐角膜眼における精度向上が期待されている。

4. 屈折矯正手術後眼での IOL 度数計算式

LASIK や放射状角膜切開術 (radial keratotomy : RK) などの、角膜屈折矯正手術を受けた眼では、IOL 度数計算が難しい。角膜換算屈折率 1.3375 が当てはまらなくなり角膜全屈折力測定が不正確となること、元々が長眼軸長眼であることなどが原因である。そのために、角膜屈折矯正術後眼のための IOL 度数計算式が必要になる。

Barrett True-K 式は厚肉光学を用いた Barrett Universal II 式が元になっており、計算に必要なパラメータは眼軸長、K 値、前房深度で、水晶体厚、角膜横径は任意である。lens factor (LF) という独自の定数を用いるが、詳細は非公表である。

Haigis-L 式では、角膜屈折力を用いず、眼軸長と術前前房深度の重回帰式から ELP を予測する。屈折矯正手術前のデータが不要である。

その他、A-P method, Camellin-Calossi 式, Masket 式など、独自の工夫を凝らした計算式が開発されている。

ASCRS (American Society of Cataract and Refractive Surgery) のウェブサイト (www.ascrs.org) では、各種の IOL 計算式が無料で使えるようになっている。Post-refractive IOL calculator から適切な項目を選択してデータを入力すると、数種類の計算式の結果が表示される。表示結果のうちの平均値～中央値を参照して度数を決定すると良い。APACRS (Asia Pacific Association of Cataract & Refractive Surgeons) のウェブサイトでも同様の計算が可能である。

5. 現在使用されている IOL 度数計算式

各社の眼軸長測定装置に、種々の IOL 度数計算式が搭載されている。表 1 に示した計算式は、これまでの論文報告等によりその信頼性と有用性が示されているものである。

表 1 眼内レンズ度数計算式として使用されているもの

式の名称	特徴	根拠となる論文
A-P method	屈折矯正術後眼に SRK/T Double K を応用した計算式	Saiki M, Negishi K, Kato N, Ogino R, Arai H, Toda I, Dogru M, Tsubota K. Modified double-K method for intraocular lens power calculation after excimer laser corneal refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2013; 39: 556-62.
Barrett TK True-K	Total Keratometry 専用の Barrett True-K 式 (レーザー屈折矯正術後眼のみ)	Lawless M, Jiang JY, Hodge C, Sutton G, Roberts TV, Barrett G. Total keratometry in intraocular lens power calculations in eyes with previous laser refractive surgery. Clin Exp Ophthalmol 2020; 48: 749-56. Yeo TK, Heng WJ, Pek D, Wong J, Fam HB. Accuracy of intraocular lens formulas using total keratometry in eyes with previous myopic laser refractive surgery. Eye (Lond) 2021; 35: 1705-11.
Barrett True AL (Axial Length)	セグメント式眼軸長測定法専用の Barrett Universal II 式	Shammas HJ, Taroni L, Pellegrini M, Shammas MC, Jivrajka RV. Accuracy of newer intraocular lens power formulas in short and long eyes using sum-of-segments biometry. J Cataract Refract Surg 2022; 48: 1113-20.

Barrett True K	角膜屈折矯正術後眼における計算式。屈折矯正手術前のデータを用いず、測定された角膜屈折力で計算を行う。Barrett Universal II をベースとする	Abulafia A, Hill WE, Koch DD, Wang L, Barrett GD. Accuracy of the Barrett True-K formula for intraocular lens power prediction after laser in situ keratomileusis or photorefractive keratectomy for myopia. J Cataract Refract Surg 2016; 42: 363-9. Wang L, Tang M, Huang D, Weikert MP, Koch DD. Comparison of newer intraocular lens power calculation methods for eyes after corneal refractive surgery. Ophthalmology 2015; 122: 2443-9.
Barrett Universal II	ガウス原理に基づいた近軸光線による厚肉レンズ計算式で、様々な IOL の度数で発生する主平面の変化を考慮した式。詳細は非公表	Barrett GD. An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction. J Cataract Refract Surg 1993;19:713-20. Cooke DL, Cooke TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. J Cataract Refract Surg 2016; 42: 1157-64.
Barrett TK Universal II	Total Keratometry 専用の Barrett Universal II 式	Barrett GD. An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction. J Cataract Refract Surg 1993; 19: 713-20.
Binkhorst	理論式の中で最も古く、前房深度を度数計算に加味した式	Binkhorst RD. The optical design of intraocular lens implants. Ophthalmic Surg 1975; 6: 17-31.
Camellin-Calossi	角膜屈折矯正手術後眼に対する式で、屈折矯正術による屈折変化や、角膜曲率・角膜厚を用いて角膜屈折力測定値を補正している	Camellin M, Calossi A. A new formula for intraocular lens power calculation after refractive corneal surgery. J Refract Surg 2006; 22: 187-99.
Haigis Haigis optimized	A 定数、術前前房深度、眼軸長の重回帰式から ELP を算出する	Haigis W. The Haigis formula. In: Shamma HJ (editor). Intraocular Lens Power Calculations. Thorofare, NJ, USA: Slack Inc. 2003; pp41-57. Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2000; 238: 765-73.
Haigis-L	レーザー屈折矯正後眼に対する計算式。屈折矯正術前の K 値を用いず、測定された角膜屈折力を補正して適用する	Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. J Cataract Refract Surg 2008; 34: 1658-63.
Hill Potvin Shammas PM	近視 LASIK 術後用で、no-history 法、修正版 Shammas 計算式を基にしている。Pentacam 測定値用にカスタマイズされている	Potvin R, Hill W. New algorithm for intraocular lens power calculations after myopic laser in situ keratomileusis based on rotating Scheimpflug camera data. J Cataract Refract Surg 2015; 41: 339-47.
Hill Potvin Post-RK	放射状角膜切開術後眼用で、Aramberri double K-修正版 Holladay I 計算式を元にしてしている。Pentacam 測定値用にカスタマイズされている	Potvin R, Hill W. New algorithm for post-radial keratotomy intraocular lens power calculations based on rotating Scheimpflug camera data. J Cataract Refract Surg 2013; 39: 358-65.
Hill-RBF (Hill-Radial Basis Function)	人工知能と高度なデータ補間に基づくパターン認識を	Gale RP, Saldana M, Johnston RL, Zuberbuhler B, McKibbin M. Benchmark standards for refractive outcomes after NHS cataract surgery. Eye (Lond) 2009; 23: 149-52.

	組み込んだ、データ駆動型の計算手法	
Hoffer Q	術後結果から回帰式により personal ACD (前房深度) を求め、計算に使用	Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. J Cataract Refract Surg 1993; 19: 700-12.
Holladay I	ELP の予測に surgeon factor (SF) という術者による経験値を使用	Holladay JT, Prager TC, Chandler TY, Musgrove KH, Lewis JW, Ruiz RS. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg 1988; 14: 17-24.
Holladay I nonlinear 眼軸長補正	Holladay I 式で眼軸長の補正をして IOL 度数を計算	Wang L, Koch DD. Modified axial length adjustment formulas in long eyes. J Cataract Refract Surg 2018; 44: 1396-7.
Holladay II	7つのパラメータ (角膜曲率, 眼軸長, 前房深度, 水晶体厚, white-to-white, 術前屈折値, 年齢) を計算に用いる	Holladay JT, Prager TC, Chandler TY, Musgrove KH, Lewis JW, Ruiz RS. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg 1988; 14: 17-24.
Holladay II nonlinear 眼軸長補正	Holladay II 式で眼軸長の補正をして IOL 度数を計算	Wang L, Holladay JT, Koch DD. Wang-Koch axial length adjustment for the Holladay 2 formula in long eyes. J Cataract Refract Surg 2018; 44: 1291-2.
Holladay R	白内障手術後の眼内レンズ追加パワーを計算するために最適化した式	Holladay JT. Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye. Am J Ophthalmol 1993; 116: 63-6.
Kane	光学理論と人工知能を組み合わせた計算式. 眼軸長, 角膜屈折力, 前房深度, 性別を因子とし, オプションとして, 水晶体厚, 中心角膜厚を加えている	Darcy K, Gunn D, Tavassoli S, Sparrow J, Kane JX. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10 930 eyes from the UK National Health Service. J Cataract Refract Surg 2020; 46: 2-7.
KORA	軸性近視眼での誤差が小さくなるよう SRK II 式を改良したもの	Kora Y, Totsuka N, Fukado Y, Marumori M, Yaguchi S. Modified SRK formula for axial myopia (24.5 mm < or = axial length < 27.0 mm). Ophthalmic Surg 1992; 23: 603-7.
Masket Modified Masket	近視・遠視に対する角膜屈折矯正手術後眼に対する計算式	Masket S, Masket SE. Simple regression formula for intraocular lens power adjustment in eyes requiring cataract surgery after excimer laser photoablation. J Cataract Refract Surg 2006; 32: 430-4.
OKULIX	K 値を使用せず, 角膜形状解析装置で測定した角膜曲率を用いた光線追跡法	Ghoreyshi M, Khalilian A, Peyman M, Mohammadinia M, Peyman A. Comparison of OKULIX ray-tracing software with SRK-T and Hoffer-Q formula in intraocular lens power calculation. J Curr Ophthalmol 2017; 30: 63-7.
Olsen	厚肉光学と光線追跡法を用い, C 定数を使用して IOL の物理的位置を推定する	Olsen T. Prediction of the effective postoperative (intraocular lens) anterior chamber depth. J Cataract Refract Surg 2006; 32: 419-24. Olsen T, Hoffmann P. C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2014; 40: 764-73.
Olsen Raytracing	完全光線追跡法を基に 3mm 領域内の全角膜データを用いる. 多くの角膜形状に使用できる	Olsen T, Jeppesen P. Ray-tracing analysis of the corneal power from Scheimpflug data. J Refract Surg 2018; 34: 45-50.

ORA IOL Power	眼軸長の代わりに、術中 aberrometry で測定した等価球面度数を用いて計算を行う	Cionni RJ, Dimalanta R, Breen M, Hamilton C. A large retrospective database analysis comparing outcomes of intraoperative aberrometry with conventional preoperative planning. J Cataract Refract Surg 2018; 44: 1230-5.
Shammas-PL	屈折矯正術後眼に対する計算式で、術前の水晶体核位置から ELP を予測する	Shammas HJ, Shammas MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2007; 33: 31-6.
SRK	回帰式として最も広く普及した計算式。短眼軸眼で遠視化、長眼軸眼で近視化の傾向がみられる	Retzlaff J. A new intraocular lens calculation formula. J Am Intraocul Implant Soc 1980; 6: 148-52. Sanders DR, Kraff MC. Improvement of intraocular lens power calculation using empirical data. J Am Intraocul Implant Soc 1980; 6: 263-7.
SRK II	SRK 式に対して、眼軸長を5つの領域に分けて調整を加え、眼軸長の影響軽減を目指した式	Sanders DR, Retzlaff J, Kraff MC. Comparison of the SRK II formula and other second generation formulas. J Cataract Refract Surg 1988; 14: 136-41. Dang MS, Raj PP. SRK II formula in the calculation of intraocular lens power. Br J Ophthalmol 1989; 73: 823-6.
SRK SHOWA (SRK 昭和大修正式)	眼軸長ごと（短眼軸、中眼軸、長眼軸）ごとに SRK 式を補正したもの	貴嶋孝至, 小沢忠彦, 高良由紀子, 谷口重雄, 稲富誠, 小出良平, 小澤哲磨: 眼軸長の違いによる眼内レンズパワー計算式の精度. 日眼会誌 1999; 103: 470-6.
SRK/T	角膜曲率半径と眼軸長から ELP を予測する理論式。SRK II 式の精度を大きく改善し、広く普及した	Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. J Cataract Refract Surg 1990; 16: 333-40.
SRK/T Double K	角膜屈折矯正手術後眼において、ELP の計算に術前K値を使用する方式	Aramberri J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double-K method. J Cataract Refract Surg 2003; 29: 2063-8.
SRK/T Wang-Koch	SRK/T 式をベースに、25mm 以上の長眼軸症例に対して Wang-Koch の補正を行う	Wang L, Shirayama M, Ma XJ, Kohnen T, Koch DD. Optimizing intraocular lens power calculations in eyes with axial lengths above 25.0 mm. J Cataract Refract Surg 2011; 37: 2018-27.
Z CALC	IOL マスターの測定値を入力し（Total Keratometry 値も可）、球面度数を計算する。レーザー屈折矯正術後眼にも対応	Lopez CE, González GF, Félix JR, García GD, Hernández MA. Comparison of toric intraocular lens calculation using the new corneal curvature measurement methods and the Haigis suite, Barrett TK, Barrett toric, and Z Calc formulas. The Pan-American Journal of Ophthalmology 2020; 2: 23.

ELP : effective lens position (術後前房深度)

II. トーリック度数計算式

1. トーリック度数計算式の基本

白内障術前から存在する角膜乱視を、手術時に矯正（軽減）するために用いられるのが、トーリック IOL である。この際に、推奨されるトーリック IOL の円柱度数 (D)、固定すべきトーリック軸の方向 (°)、予測される術後残余乱視の量 (D) と

方向 (°) を計算するために使用されるのが、トーリック度数計算式 (トーリックカリキュレーター) である。

計算式に入力されるパラメータは、術前の強・弱主経線の角膜屈折力 (もしくは曲率半径)、その角度、手術による惹起乱視 (surgically induced astigmatism : SIA) である。SIA は術者ごとの値であり、予め計算して決めておく必要がある。SIA の計算方法としては、倍角座標ベクトルの平均値を求める方法、中央値を求める方法、倍角座標ベクトルの重心であるセントロイド値を求める方法があり、どれを用いるかは術者の判断に委ねられている。SIA の過大評価は矯正精度をかえって低下させる可能性があることから、現在はセントロイド値が採用される傾向にある。

2. トーリック度数計算式の歴史と現状

角膜乱視と、トーリック IOL の乱視をベクトル合成するために、IOL 面の乱視を角膜面の値に換算しなくてはならない (頂点間距離補正)。初期のトーリック度数計算式では、どの眼に対しても同じ定数を用いていた。その後、予想前房深度の考え方が取り入れられ、個々の眼に対して ELP が計算されるようになっている。Haigis-T 式では Haigis 式で、Barrett Toric 式では Barrett Universal II 式で ELP を算出している。

当初、トーリック IOL を使用した白内障手術において、倒乱視眼では低矯正に、直乱視眼では過矯正になる傾向が問題となった。ケラトメータで測定できない角膜後面乱視がその原因であることが明らかになったことから、それに対応した機能を持つトーリック度数計算式が開発された。

Baylor nomogram は、角膜後面乱視を考慮していなかった第 1 世代の計算式を単純修正したもので、トーリック IOL の適応を、倒乱視では 0.4 D から、直乱視では 1.7 D からになるようシフトさせたものである。

Barrett Toric 式では、角膜後面乱視を含む角膜全屈折を数学的モデルで構築することで角膜後面乱視を考慮している。Abulafia-Koch 回帰式は、術後自覚乱視から作成した回帰式に基づき、角膜後面乱視を考慮したトーリック度数選択を行っている。

一方、swept source OCT の原理を用いた生体計測装置によって角膜全屈折力 (total keratometry : TK) が測定可能となり、Barrett TK Toric では角膜後面乱視の予測値ではなく、実測値 (TK) を使用して計算を行っている。

Kane 式は光学理論と人工知能を組み合わせた計算式で、IOL 度数計算とともに、トーリック度数計算も可能である。詳細は非公開で、眼軸長、角膜屈折力、前房深度以外に、性別を考慮に入れており、オプションとして、水晶体厚、中心角膜厚を加えている。

3. 現在使用されているトーリック度数計算式

現在、種々のトーリック度数計算式が、各社の眼軸長測定装置に搭載、あるいはウェブサイトに掲載されている。表 2 に示した計算式は、これまでの論文報告等によりその信頼性と有用性が示されているものである。

表 2 トーリック度数計算式として使用されているもの

Abulafia-Koch 回帰式	角膜前面の曲率測定値から角膜後面乱視を推定し、回帰式に基づいて角膜全乱視を算出	Abulafia A, Koch DD, Wang L, Hill WE, Assia EI, Franchina M, Barrett GD. New regression formula for toric intraocular lens calculations. J Cataract Refract Surg 2016; 42: 663-71. Ribeiro FJ, Ferreira TB, Relha C, Esteves C, Gaspar S. Predictability of different calculators in the minimization of postoperative astigmatism after implantation of a toric intraocular lens. Clin Ophthalmol 2019; 13: 1649-56.
Alpins 計算式	乱視をベクトルとして扱い、術前後の乱視変化を解析する計算式	Alpins NA. A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. J Cataract Refract Surg 1993; 19: 524-33.
Barrett Rx	IOL 挿入術後の屈折異常を評価し、トーリック眼内レンズの軸ずれ修正に関する計算を行う。Barrett Universal II 式と Barrett Toric Calculator の両方を使用	Sharma AC, Khetan A. Comparing IOLM700 TK, Berdahl and Hardten astigmatism fix calculator and Barrett Rx formula in managing residual astigmatism due to toric intraocular lens misalignment. Indian J Ophthalmol 2022; 70: 413-9.
Barrett Toric	角膜後面乱視を含む角膜全屈折を数学的モデルで構築することで角膜後面乱視を考慮。ELP は Barrett Universal II 式で算出	Barrett GD. An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction. J Cataract Refract Surg 1993; 19: 713-20. Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, Ofir S, Levy A, Marcovich AL, Michaeli A, Koch DD, Wang L, Assia EI. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 2015; 41: 936-44.
Barrett TK Toric	Barrett Toric 式をベースとしているが、角膜後面乱視の予測値ではなく、実測値を使用	Fabian E, Wehner W. Prediction Accuracy of total keratometry compared to standard keratometry using different intraocular lens power formulas. J Refract Surg 2019; 35: 362-8. Yang S, Byun YS, Kim HS, Chung SH. Comparative accuracy of Barrett Toric calculator with and without posterior corneal astigmatism measurements and the Kane Toric formula. Am J Ophthalmol 2021; 231: 48-57.

Barrett True-K Toric	Barrett Toric 式をベースとし、角膜屈折矯正手術後眼に最適化した計算式	Wang L, Tang M, Huang D, Weikert MP, Koch DD. Comparison of newer intraocular power calculation methods for eyes after corneal refractive surgery. <i>Ophthalmology</i> 2015; 122: 2443-9. Abulafia A, Hill WE, Koch DD, Wang L, Barrett GD. Accuracy of the Barrett True-K formula for intraocular lens power prediction after laser in situ keratomileusis or photorefractive keratectomy for myopia. <i>J Cataract Refract Surg</i> 2016; 42: 363-9.
Barrett True-K TK Toric	Barrett Toric TK 計算式をベースとし、角膜屈折矯正手術後の眼用に最適化した計算式	Christopher KL, Patnaik JL, Miller DC, Lynch AM, Taravella MJ, Davidson RS. Accuracy of intraoperative aberrometry, Barrett True-K with and without posterior cornea measurements, Shammas-PL, and Haigis-L Formulas after myopic refractive surgery. <i>J Refract Surg</i> 2021; 37: 60-8. Yeo TK, Heng WJ, Pek D, Wong J, Fam HB. Accuracy of intraocular lens formulas using total keratometry in eyes with previous myopic laser refractive surgery. <i>Eye (Lond)</i> 2021; 35: 1705-11.
Baylor nomogram	角膜後面乱視の影響で、乱視矯正効果が直乱視例では過矯正、倒乱視例で低矯正になる傾向を緩和した式。トーリック IOL の適応を、倒乱視では 0.4D から、直乱視では 1.7D からになるようシフトさせた	Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP, Yeu E, Wang L. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. <i>J Cataract Refract Surg</i> 2013; 39: 1803-9. Canovas C, Alarcon A, Rosén R, Kasthurirangan S, Ma JJK, Koch DD, Piers P. New algorithm for toric intraocular lens power calculation considering the posterior corneal astigmatism. <i>J Cataract Refract Surg</i> 2018; 44: 168-74
Berdahl and Hardten astigmatism fix	トーリック眼内レンズ術後の軸ずれ修正に関する計算を行う	https://www.astigmatismfix.com/ Sharma AC, Khetan A. Comparing IOLM700 TK, Berdahl and Hardten astigmatism fix calculator and Barrett Rx formula in managing residual astigmatism due to toric intraocular lens misalignment. <i>Indian J Ophthalmol</i> 2022;70:413-19.
Haigis	Haigis式の理論を用いて、強主経線方向および弱主経線方向の球面度数計算を行う。2 経線法でトーリックモデルを決定し、術後乱視を予測する	Haigis W. The Haigis formula. In: Shammas HJ (editor). <i>Intraocular Lens Power Calculations</i> . Thorofare, NJ, USA: Slack Inc. 2003; pp41-57. 二宮欣彦, 村口弥生, 瀧端 睦, 前田直之: 低加入度数分節トーリック眼内レンズの乱視矯正効果とトーリックカリキュレーター精度. <i>日眼会誌</i> 2024;128: 533-42.
Haigis-T	球面 IOL 度数と乱視矯正の度数を同時に算出	Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. <i>J Cataract Refract Surg</i> 2008; 34: 1658-63.
Haigis-TL	レーザー屈折矯正術後眼に対応したトーリック計算式。球面 IOL 度数と乱視矯正の度数を同時に計算	Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. <i>J Cataract Refract Surg</i> 2008; 34: 1658-63.

Holladay	強主経線方向および弱主経線方向の術後予測屈折度数をそれぞれ計算し、その差から予測術後角膜乱視度数を算出	Fam HB, Lim KL. Meridional analysis for calculating the expected spherocylindrical refraction in eyes with toric intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2007; 33: 2072-6. Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, Ofir S, Levy A, Marcovich AL, Michaeli A, Koch DD, Wang L, Assia EI. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 2015; 41: 936-44.
Holladay Total SIA	Holladay 式をベースとし、最適化された Total SIA（手術惹起乱視の合計変化量）をオプションの一つとして選択可能とした計算式で、2.5mm 以下の耳側角膜切開を実施する際に用いる	Holladay JT, Pettit G. Improving toric intraocular lens calculations using total surgically induced astigmatism for a 2.5 mm temporal incision. J Cataract Refract Surg 2019; 45: 272-83. Holladay JT. Calculation of total surgically induced astigmatism with a toric intraocular lens. J Cataract Refract Surg 2020; 46: 793-4.
Kane	光学理論と人工知能を組み合わせた計算式。眼軸長、角膜屈折力、前房深度、性別を因子とし、オプションとして、水晶体厚、中心角膜厚を加えている	Kane JX, Connell B. A comparison of the accuracy of 6 modern toric intraocular lens formulas. Ophthalmology 2020; 127: 1472-1486.
Olsen Raytracing	完全光線追跡法を基に 3mm 領域内の全角膜データを用いる。多くの角膜形状に使用可能	Olsen T, Jeppesen P. Ray-tracing analysis of the corneal power from Scheimpflug data. J Refract Surg 2018; 34: 45-50.
Savini Toric	Pentacam で測定した全角膜屈折値を極値に変換し、net corneal astigmatism を算出	Savini G, Næser K, Schiano-Lomoriello D, Ducoli P. Optimized keratometry and total corneal astigmatism for toric intraocular lens calculation. J Cataract Refract Surg 2017; 43: 1140-8.
Z CALC	IOL マスターの測定値を入力し（Total Keratometry 値も可）、円柱度数を計算する。レーザー屈折矯正術後眼にも対応	Lopez CE, González GF, Félix JR, García GD, Hernández MA. Comparison of toric intraocular lens calculation using the new corneal curvature measurement methods and the Haigis suite, Barrett TK, Barrett toric, and Z Calc formulas. The Pan-American Journal of Ophthalmology 2020; 2: 23.