

平成18 年度 研究調査報告書

中心・周辺視野の脳部位の同定と
交通安全への適用に関する研究

報 告 書

平成19年6月

研究委員会の構成

●プロジェクトリーダー： 呉 景 龍

●プロジェクトメンバー：

矢 野 雅 文

蓮 花 一 巳

河内山 隆 紀

事務局 奈良坂 伸（財）国際交通安全学会）

小金井 幹夫（財）国際交通安全学会）

目 次

<u>1. 緒言</u>	1
1.1 研究背景と目的	1
1.2 動的視野	1
1.2.1 動的視野の重要性について	1
1.2.2 動的視野測定の手速度や反応時間について	2
1.2.3 加齢効果の検討について	2
1.3 視野に関する先行研究	2
<u>2. 基礎知識</u>	
2.1 視野の概念	3
2.2 視野測定方法	3
2.2.1 動的視野測定法	3
2.2.2 静的視野測定法	4
2.3 ゴールドマン視野計について	4
2.3.1 機能	4
2.3.2 操作方法	5
<u>3. 認知心理学実験装置</u>	
3.1 単純反応時間測定器	6
3.1.1 単純反応時間測定器本体	6
3.1.2 単純反応時間測定プログラム	7
3.1.3 単純反応時間測定器の操作方法	7
3.2 動的視野測定装置	8
3.2.1 L-1560 視標移動操作自動化の必要性	8
3.2.2 L-1560 視標移動操作自動化の方法	8
3.2.3 完成した視標移動自動型ゴールドマン視野計装置	10
3.2.4 動的視野計装置用スライダ制御プログラム	11
3.2.5 自動化した L-1560 の操作方法	12
<u>4. 認知心理学実験方法</u>	
4.1 実験装置	13
4.2 実験場所	13
4.3 被験者	13
4.4 実験方法	13
4.4.1 単純反応時間測定	13
4.4.2 動的視野測定	15
4.4.3 静止視力測定	18

<u>5. 認知心理学実験結果</u>	
5.1 静止視力測定結果	20
5.2 単純反応時間測定結果	20
5.2.1 若年者の単純反応時間	20
5.2.2 高齢者の単純反応時間	23
5.3 動的視野測定結果	26
5.3.1 若年者の動的視野面積	26
5.3.1.1 若年者全視野面積の結果	26
5.3.1.2 若年者個人の視野面積の結果	27
5.3.1.3 若年者の視野面積の視覚化	29
5.3.2 高齢者の動的視野面積	50
<u>6. 認知心理学実験研究の改善点</u>	
6.1 実験装置・方法の改善	51
6.2 被験者の視能力の比較	51
6.3 被験者人数と測定回数の増加	51
<u>7. 視覚認知神経科学の基礎と従来研究</u>	52
<u>8. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）実験装置</u>	54
<u>9. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）実験方法</u>	56
<u>10. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）実験結果</u>	57
<u>11. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）研究の改善点</u>	
11.1 実験装置の改善	59
11.2 実験方法の検討	59
11.3 解析方法の学習	59
<u>12. 今後の予定</u>	60
<u>謝 辞</u>	60
<u>参考文献</u>	61

1. 緒言

1. 1 研究の背景と目的

本研究は、人間の認知・行動特性の観点から、交通安全を実現するための方策を検討することを目指としている。特に本研究では、人間の五感の中でも交通環境の知覚において最も重要な役割を果たしている視覚に着目し、その特性が招く交通事故を調査・解明することで交通安全の実現に向けた提言を行いたいと考えている。

視覚と交通環境との関連を調べるにあたり、我々は、「ここや」という標語を用いた。「ここや」は、高齢者・交差点・夜間を意味し、いずれも交通死亡事故を特徴付けるキーワードとなっている。社会の高齢化に伴い、高齢者がかかわる交通事故死者数は増加の一途をたどっており、高齢者の交通安全対策が重要な課題であることは周知の事実である。また道路形状別にみた死亡事故件数では、交差点を含む道路横断時の事故が約半数となり、時間帯別死亡事故件数では、18時から20時までの、いわゆる黄昏時から夜間での事故が最も多い。これら3つの事故要因が複合的に存在した場合は、事故発生の確率がさらに高くなるであろう。そこで我々は、「ここや」における交通事故発生の原因を人間の視覚特性に帰着することを試みた。

我々は、交差点を含む道路横断時の交通環境においては、人間の視覚特性の中でも、周辺視野が特に重要であると考えている。運転者（歩行者）が周辺視野に現れる歩行者（車両）へ適切な認知判断を行うことができれば、より一層の交通安全を実現することが可能であろう。人間の周辺視野特性は、これまで認知心理学的に調べられてきたが、「ここや」の視点からは、まだ十分に解明されているとはいえない状況である。また我々は、認知・行動特性の原点としての脳機能に関心を持っているが、周辺視野特性に関する知見は皆無に近い状況である。

そこで本年度は、人間の周辺視野特性の解明に向けた第一歩として、（1）視野計測機器を改造して認知心理学（行動科学）実験を用いた若年者と高齢者の動的視野特性を定量的に計測し、（2）機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いた、脳内における周辺視野再現部位の特定に関する認知神経科学的実験を行った。

1. 2 動的視野

1. 2. 1 動的視野の重要性について

人の行動は、その8割が視覚情報に基づいて行われている。交通災害においても視覚情報の欠如が重要な要因とされている。

この視覚情報を得るための視能力には、ものを見て認識・区別に必要な静止・動的視力や深視力がある。一般に自動車の運転免許証を持つために必要な視覚検査といえば静止視力と深視力であるが、他にも眼で“見えている範囲”を定量化した静的・動的視野があり、これらも重要な視覚情報を提供する。

視野とは、眼を動かさずに知覚できる周辺視の範囲であり、動物が視覚情報を得ることの出来る範囲である。そのため、この視野という視能力の重要性は計り知れない。特に動いているものを視認させる動的視野は、私たちの生活において常に使われている重要な視能力である。

本研究は、動的視野測定を行うことで人間の視野特性を解明し、その知見を日常生活の快適化や交通災害の減少に役立てていくものである。

1. 2. 2 動的視野測定の数値や反応時間について

動的視野測定に関する先行研究では、視覚刺激となる視標の大きさや明るさによって、人の動的視野面積は増減することがわかっている。しかし、それらの研究において視標の移動速度は2~6[deg/s]に限られている。日常生活において、人や物は様々な速度で移動している。動的視野を研究するにあたっては、より速い視標移動速度で測定を行い、視標条件の幅を広めることが必要である。

また、動的視野測定において重要な被験者の反応時間（視標を視認してから応答するまでの時間）を考慮した研究は見当たらなかった。反応時間を考慮しなければ、本来見えているはずの動的視野面積が過小評価されていることになる。

1. 2. 3 加齢効果の検討について

動的視野に関する先行研究においても、加齢効果による動的視野面積の減少は確認されている。一般的に、加齢に伴って視能力が低下していくことは周知の事実である。しかしながら、加齢効果は視能力のみに影響するわけではない。視野測定では、被験者の回答に際して手指を用いた反応を求めるが、ここにも加齢効果が影響する。特に高齢者では反応時間が遅く、視野測定時に深刻な誤差をもたらす。

本研究では、動的視野測定において被験者の反応時間を考慮して、本来見えている動的視野面積を測定することとした。反応時間に対しても影響を与えるはずである。

1. 3 視野に関する先行研究

視野測定に関する先行研究では、主に自動視野計を用いた静的・動的視野測定が行われている¹⁾²⁾³⁾。そのうち動的視野を扱った先行研究では、視標サイズが大きいほど、視標輝度が大きいほど動的視野面積は広がる¹⁾⁴⁾こと、また年齢が高くなるほど動的視野面積は狭くなる¹⁾こと、単眼による動的視野測定を行った場合、左右眼に面積差はない⁴⁾など、様々な動的視野特性が述べられている。ただし、自動視野計は静的視野測定を行うために開発されたものであり、自動視野計で行う動的視野測定はゴールドマン視野計による動的視野測定に比べて満足できる結果は得られなかった。それにもかかわらず、ゴールドマン視野計を用いて動的視野の視特性を検討した研究は少ない。

その原因は、ゴールドマン視野計が手動型であり、動的視野測定において視野面積の視標移動速度依存性を検討できないことにあった。ゴールドマン視野計には、視標のサイズや輝度を調節する機能や、動的視野測定だけでなく静的視野測定も行える機能はあったが、視標の移動方法が手動であり、視標移動速度を一定にすることは不可能だったからである⁵⁾⁶⁾⁷⁾。そのため、視標移動を自動に行える自動視野計が用いられてきた。

しかし、自動視野計を用いて動的視野特性を検討してきた先行研究結果にも疑問点がある。動的視野測定は、いわば周辺視の範囲を測定するものであるが、その測定時に被験者が視標を視認してから応答するまでの反応時間は考慮しなくて良いのだろうか。石垣ら⁸⁾の論文では、周辺視における反応時間は200[msec]程度の値を記録している。また、この論文の被験者は19歳ということなので、高齢者においては加齢効果による反応時間の延長も考えられる。これは鈴木ら⁹⁾の高齢者の視野特性に関して研究された論文でも重要と指摘されているのだが、残念なことに動的視野測定には反映されていない。

2. 基礎知識

2. 1 視野の概念

視野の一般的意味は、「一眼を動かさずに見える範囲」のことである。その測定方法として、対座法による視野測定がある。これは被験者の他眼を遮蔽し、検査眼にて固視させながら対象となる物を動かして、その見える範囲を確かめるものである。

この視野検査方法は“見えるか見えないか”，“0 か 1 か”の応答によって視野の広さを測定するものである。しかし、視野において周辺視と中心視では物の見え方が全く異なる。すなわち、周辺視では大きく明るい視標は認識できるが小さく暗い視標は認識できないのである。周辺視において小さく暗い視標は視野中心に近づいてはじめて認識できる。

また、対座法での視野検査の場合、視野の広さは使用する視標の大きさや色、明るさ等に依存する。この視標条件による刺激強度の違いによって視野の広さが変化する様子は等高線で描くことが出来る。

2. 2 視野測定方法

視野の測定方法には大きく分けて 2 種類の方法がある。視標のサイズと輝度を固定し、図 2.1 のように視標を動かして等感度曲線（isopter）を求める動的視野測定法と、視標の呈示位置を固定し、視標の輝度を変えて測定点毎の視感度を求める静的視野測定法である。

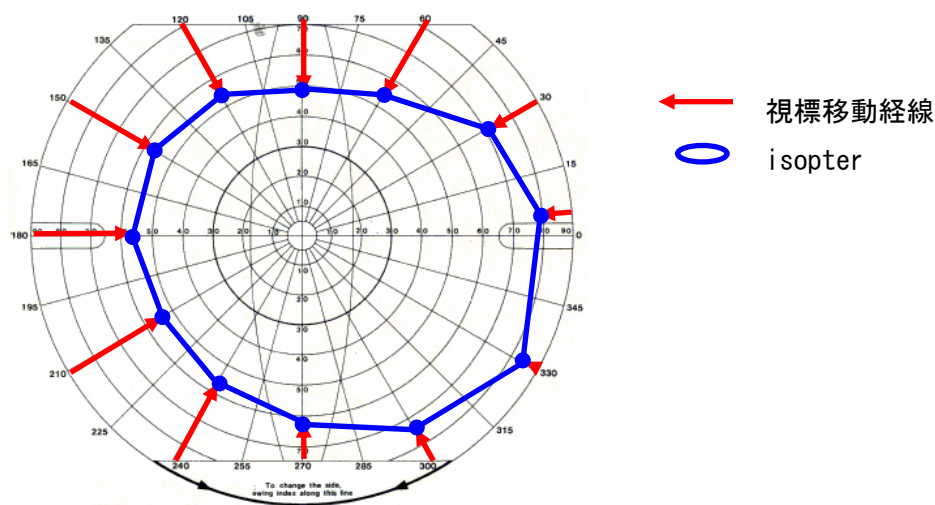


図 2.1 等感度曲線

2. 2. 1 動的視野測定法

視野測定方法の一つである動的視野測定法は、視標を周辺の左右上下様々な方向の見えない部分から動かしてきて、被験者が最初に見えたと答えた点を記録し、これを結ぶことでその視標の見える範囲を決定することが出来る。この曲線のことを等感度曲線と呼ぶ。視標の輝度や大きさを変えることで、同心円状の複数の等感度曲線が描ける。このようにして求めた量的視野を動的視野と呼ぶ。本研究ではこちらの動的視野測定法を用いる。

2. 2. 2 静的視野測定法

静的視野測定方法は、動的視野測定とは異なり視標呈示位置を固定して行う方法である。視野形状を測定するための測定ポイントが設定されており、測定ポイントごとに視標輝度を暗から明に変化させていき、光覚閾値を求めていく。

測定ポイントごとに光覚閾値が得られるので、これらの閾値を元に視野の評価を行う。

2. 3 ゴールドマン視野計について

動的視野測定に用いる動的視野計の代表はゴールドマン視野計(図 2.2)である。本研究でも、このゴールドマン視野計を用いて動的視野を測定していく。以下にその主な機能と操作方法について記述する。

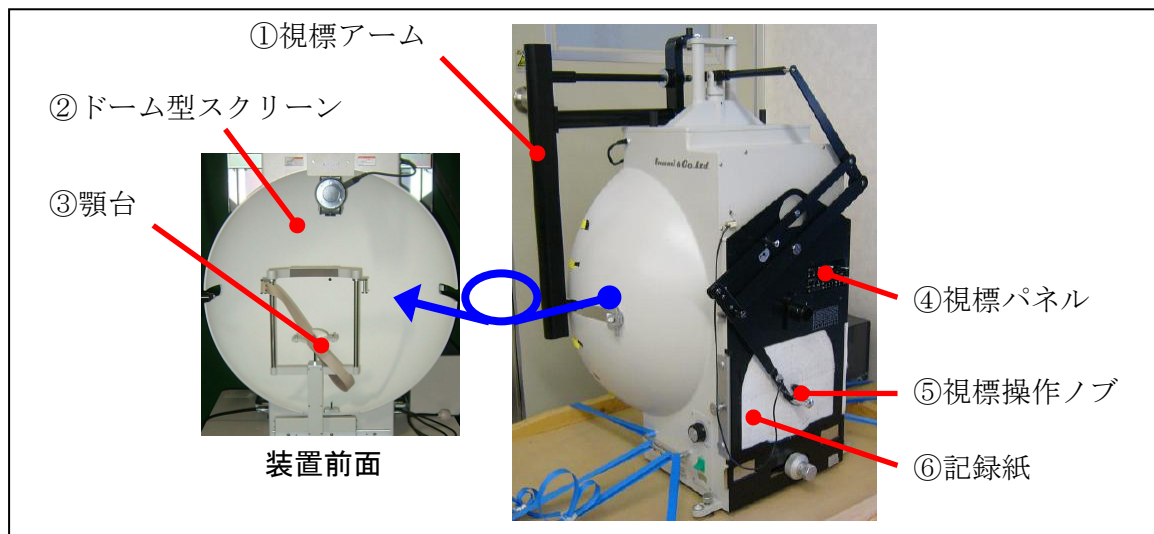


図 2.2 ゴールドマン視野計

2. 3. 1 機能

ゴールドマン視野計では視標となる光点を視標アーム(図 2.2 の①)からドーム型スクリーン(図 2.2 の②)上に投影する。視標アームの動きは装置のギミックを介して、装置背面に配置されている視標操作ノブ(図 2.2 の⑤)の動きと連動している。ただし、ゴールドマン視野計は手動型なので、検査者が手動で視標を動かさなくてはならない。視標のサイズや輝度の調整は装置背面のパネル(図 2.2 の④)で調整可能である。

被験者は装置前面に設置されている顎台(図 2.2 の③：上下の高さ、左右の位置の調整可能)に顔を置いて、ベルト類で固定することができる。

また、被験者からの応答方法については、初期の頃は応答がブザーで、検査者が手書きで記録紙(図 2.2 の⑥)に応答場所をマークしていたが、今では応答スイッチを押せば自動的に記録紙にマークされるオートマッピング機能がある。

2. 3. 2 操作方法

検査者はゴールドマン視野計の装置背面に張り付けた記録紙の上で、視標操作ノブを周辺から中央に向かってゆっくりと動かしていく。

被験者は被検眼の反対の眼を眼帯やガーゼで隠し、被検眼で視野計のドーム型スクリーン中央の固視点を見つめ、周辺から移動してくる視標がわかった段階で応答スイッチを押す。被験者からの応答後、検査者は視標を消灯し、45° 程度ずれた経線上で再び周辺から視標を点灯し、中央へ動かしていく。

この作業を繰り返していき、1本の等感度曲線を描くのに必要な点を8点以上記録する。

3. 認知心理学実験装置

本研究で製作・使用した実験装置について説明する。

実験装置は、単純反応時間測定器、動的視野測定装置、静止視野検査装置の3つである。

3. 1 単純反応時間測定器

従来のゴールドマン視野計装置やハンフリー視野計装置には、動的視野測定で単純反応時間を測定するための機器が無いため、LEDを反応刺激とした単純反応時間測定器を独自に製作した。

3. 1. 1 単純反応時間測定器本体

単純反応時間測定器は、LED刺激部と制御用PC接続部（プリンタ端子LPTを経由）とから成り、LED刺激部の大きさはφ30、視角6[deg]である。LEDの色は黄色にしてあり、輝度を調節するために可変抵抗も用いている。

また、LED刺激部から見える反応刺激のサイズを調整するためのカバーを2種類用意している。一つは動的視野測定において視標サイズVと同じ大きさのφ9、もう一つも同じく動的視野測定における視標サイズIと同じ大きさのφ0.6のものである。これらをLED刺激部に被せることで、反応刺激のサイズを動的視野測定の視標と同じサイズにすることができる。

単純反応時間を測定する上で重要である、被験者が応答するための応答スイッチは、ゴールドマン視野計装置L-1560に用いられている押しボタン式応答スイッチと同じ部品を用いている。

L-1560の部品である応答スイッチは取り外しが可能であったため、取り外したスイッチを制御用PCのマウスに接続し、単純反応時間測定器の応答スイッチとして用いた。

図3.1に単純反応時間測定器の写真を、図3.2に単純反応時間測定器接続概要図を示す。

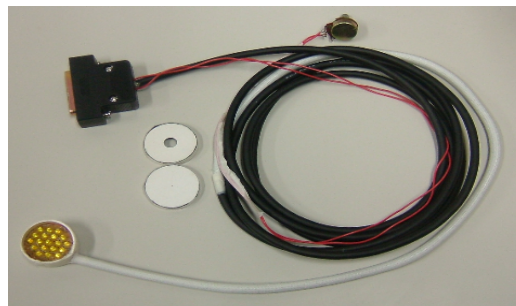


図 3.1 単純反応時間測定器

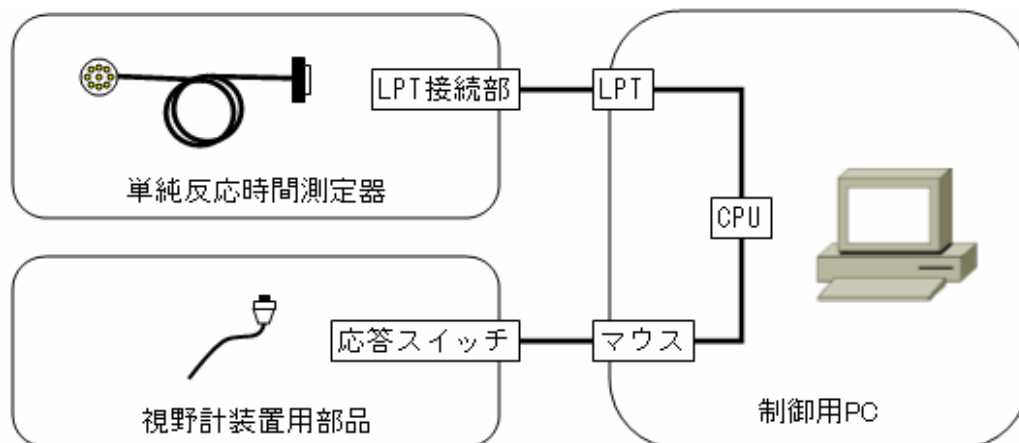


図 3.2 単純反応時間測定器接続概略図

3. 1. 2 単純反応時間測定プログラム

単純反応時間測定器を用いて単純反応時間を測定するための測定プログラム『Reaction.exe』を、Visual Basic で作成した。

作成したプログラムは、被験者情報（被験者名、年齢、性別）、環境情報（実験日、時刻、天候、気温、湿度）と測定情報（測定回数、測定間隔）を入力する欄があり、各情報と測定結果は Microsoft Excel に記録される。

図 3.3 にプログラムフォームの画面を示し、付録の項に LED による単純反応時間測定『Reaction.exe』プログラムコードを記載する。

The screenshot shows two windows from a Visual Basic application.
Form1, titled 'LEDによる単純反応時間測定', contains two main sections. The first section, '被験者・環境情報', has input fields for '被験者名' (Name), '年齢' (Age) set to 20, '性別' (Gender) set to 男 (Male), '実験日' (Experiment Date) set to 2006/00/00, '時刻' (Time) set to 13:00, '天候' (Weather) set to 晴れ (Clear), '気温' (Temperature) set to 30.0 °C, and '湿度' (Humidity) set to 80 %. The second section, '測定条件', has '測定回数' (Number of measurements) set to 30 and '測定間隔' (Measurement interval) set to 3 seconds. Below these are two buttons: '条件入力完了' (Conditions input complete) and '終了' (End). A blue text box says '被験者・環境情報を入力して、測定を開始してください。' (Enter subject/environmental information and start measurement). At the bottom, it says '製作：知能機械システム工学科4年 03T470 宮本脩平'.
Form2, titled 'Form2', has a 'swdata' field with the value 1, and two fields for 'ave' and 'Re', both with the value 0 and unit 'ms'. It has two buttons: '開始' (Start) and 'Excelへ出力' (Output to Excel).

図 3.3 単純反応時間測定プログラムのフォーム

3. 1. 3 単純反応時間測定器の操作方法

単純反応時間測定器は、制御用 PC に接続することで同 PC 上の単純反応時間測定プログラムによる制御が可能になる。

反応刺激となる LED 刺激部をゴールドマン視野計装置 L-1560 のドーム型スクリーン中心部に設置し、被験者には動的視野測定と同じ姿勢（L-1560 のアゴ台に頭を乗せて固定する）を取らせる。このとき、被験者の応答方法は制御用 PC のマウスに接続してある L-1560 用応答スイッチを押すことである。

単純反応時間測定プログラムを起動し、被験者情報、環境情報や測定情報を入力した後、プログラムフォーム上で開始ボタンを押すだけで、単純反応時間の測定が始まる。測定終了後、測定結果をプログラムフォーム上の出力ボタンを押し、Microsoft Excel に記録させて単純反応時間測定が完了する。

3. 2 動的視野測定装置

本実験において、動的視野測定装置として用いるのは INAMI 社製『プロジェクションプリメータ MK-70ST L-1560 (以降、L-1560)』である。図 3.4 に L-1560 の写真を示す。

この L-1560 は手動型ゴールドマン視野計装置であるため、一定速度で視標を移動させることができず、視標移動操作を自動化する必要性があった。以下にその必要性と改良方法を記す。

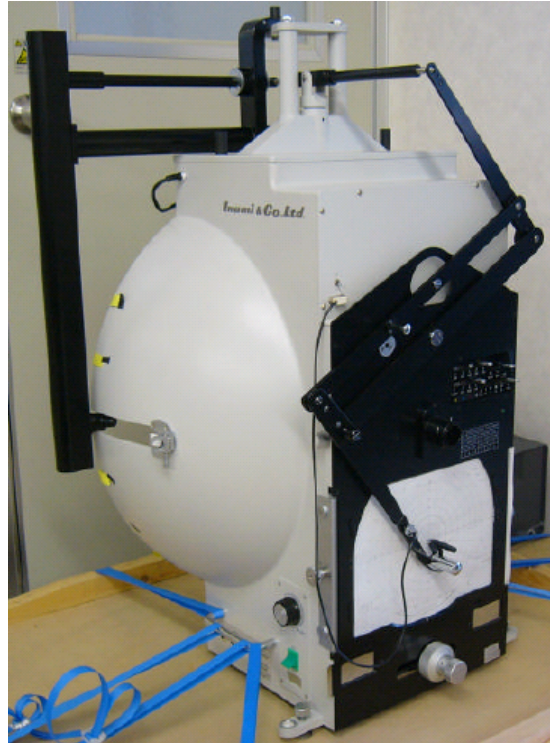


図 3.4 プロジェクションプリメータ L-1560

3. 2. 1 L-1560 視標移動操作自動化の必要性

現在、一般に動的視野計装置と呼ばれる装置は本研究で用いたようなゴールドマン視野計装置である。しかし、この装置は手動型であり、視標移動を一定速度で行うことは不可能である。加えて、手動操作自体も熟練の技術を必要とし、十分な経験を積んだ医師や看護師でないと信頼性のある動的視野測定結果が得られない。そのため、誰もが測定を行える環境にはなっていない。

従来、自動視野計装置と呼ばれているハンフリー視野計装置は、視野測定を自動化しているため、医療の現場はもちろん、実験や研究でもよく用いられている。しかし、ハンフリー視野計装置は元来静的視野測定のために開発されたもので、熟練の技術のある医師がゴールドマン視野計装置を用いて測定した結果よりも信頼性が劣っている。

そこで、本研究では手動であるゴールドマン視野計装置の視標移動操作を自動化しようと考えた。

3. 2. 2 L-1560 視標移動操作自動化の方法

ゴールドマン視野計装置は、装置背面にある投影視標位置インデックスにパンタグラフの視標操作ノブを設置している。視標操作ノブを平面である投影視標位置インデックス上を平面移動させることで、ゴールドマン視野計装置特有のギミックを介し、視標を球面で移動させることができる。

研究当初、L-1560 のギミックの動きを突き詰めたら 2 軸の回転によるものであると判った。この 2

軸の回転を 2 つのモータで制御することが出来れば、操作ノブを動かさなくても視標移動が可能になると考えられた。これは、L-1560 を自動化しようと研究していた前任者も考えていたことであった。

しかし、実際に 2 軸の回転を 2 つのモータで制御し、実験者の思うように視標を移動させることは出来なかった。モータで回転させる際に発生する慣性力が非常に大きく、2 つのモータによる回転行列を順運動学や逆運動学で求めようと考えた場合、各モータが十分追従できなかったからである。

そこで、自動化の焦点を操作ノブに変更して考えた場合、視標操作ノブの移動を人の手ではなく、電動スライダで行えば一定速度の視標移動が可能になるのではないかと思いついた。電動スライダを用いれば視標操作ノブを一定速度で動かすことができ、その移動速度も自由に变化させることができる。

電動スライダを用いて視標操作ノブを動かすには、L-1560 の背面に電動スライダを設置しなければならない。そのためには、電動スライダの取り付け台を製作する必要があるため、東洋電子工業株式会社の協力のもと、電動スライダ取り付け台を製作した。また、自動化に用いた電動スライダは、オリエンタルモータ社製「EVS3D014M-C」である。

図 3.5 に電動スライダを、図 3.6 に製作した電動スライダ取り付け台を示す。

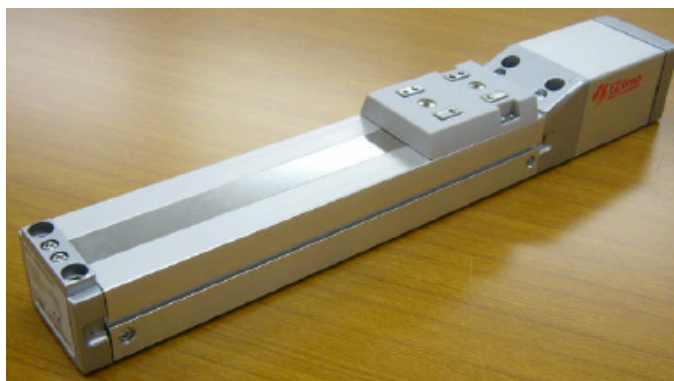


図 3.5 電動スライダ

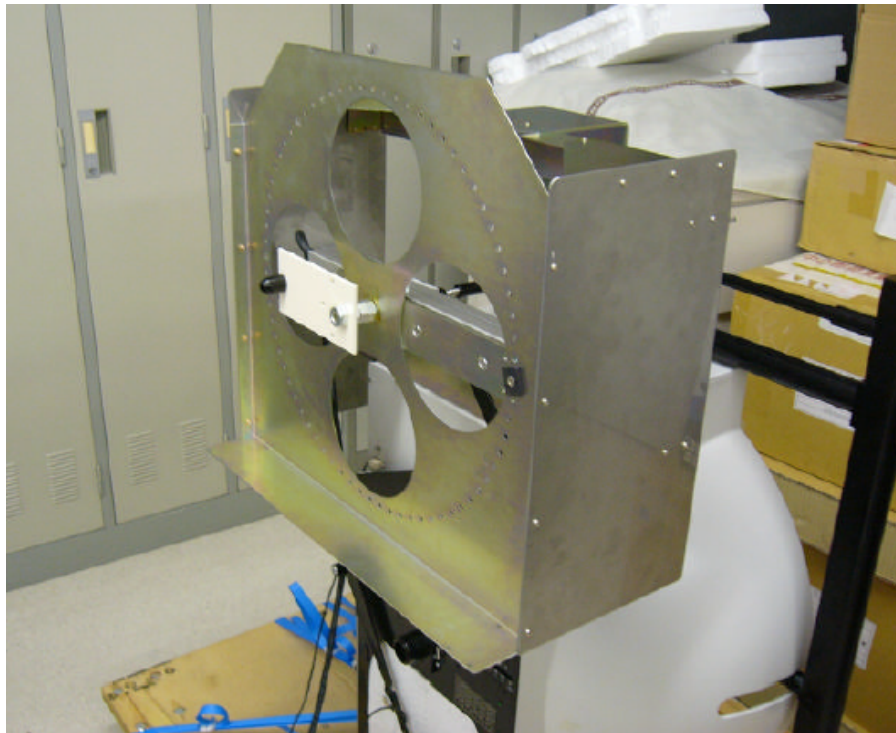


図 3.6 電動スライダ取り付け台

3. 2. 3 完成した視標移動自動型ゴールドマン視野計装置

手動型ゴールドマン視野計装置である L-1560 の視標操作ノブの操作を電動スライダで自動化するため、視野計装置背面に取り付け台を設置、その取り付け台に電動スライダを取り付けた。図 3.7 には完成した動的視野計装置の写真を示す。(a)には被験者が座る装置前面、(b)には実験者が操作する装置背面のものである。

装置上方にある電動スライダ取り付け台に取り付けた電動スライダと L-1560 のパンタグラフを接続させることで、視標操作ノブを動かす作業と同じ効果を得ている。これは、視標移動操作ノブ部周辺には視標移動以外の設定機能のあるレバー類があるため、取り付け台が邪魔になることを避けるためである。

また、電動スライダは PC による制御が必要である。図 3.8 に動的視野計装置の概略図を示す。



(a)装置前面写真



(b)装置背面写真

図 3.7 視標移動自動型ゴールドマン視野計装置

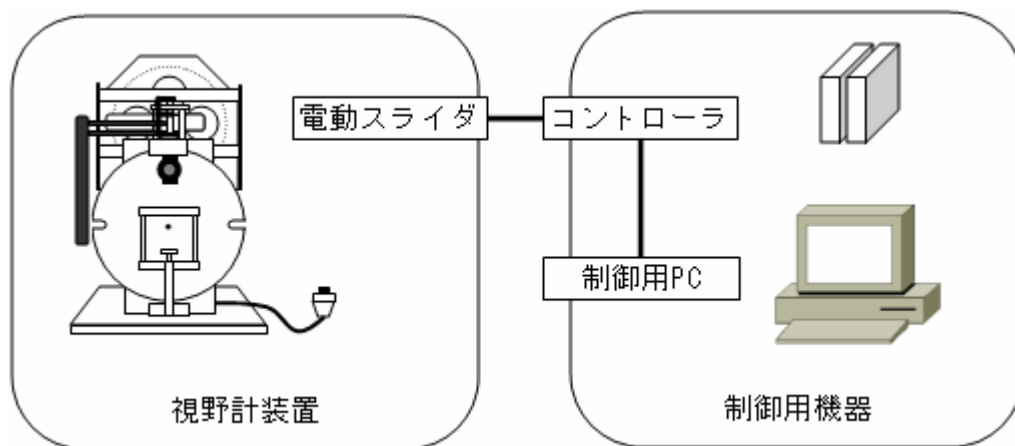


図 3.8 動的視野計装置の概略図

3. 2. 4 動的視野計装置用スライダ制御プログラム

手動であった L-1560 に電動スライダを導入したことで、電動スライダの制御を行うことが必要となった。電動スライダは、Visual Basic で作成した動的視野計装置用スライダ制御プログラム『View_Control.exe』を制御用 PC 上から上位コントローラ EMP400, 下位コントローラ ESMC-A を介して電動スライダに命令コードを送る。

図 3.9 に動的視野計装置用スライダ制御プログラムフォームの画面を示す。

なお、電動スライダによる視標移動速度の分解能は $0.007[\text{deg/s}]$ であり、ほぼ無段階変速が可能ではあるが、本研究では 5, 10, $15[\text{deg/s}]$ の 3 速度のみを用いている。

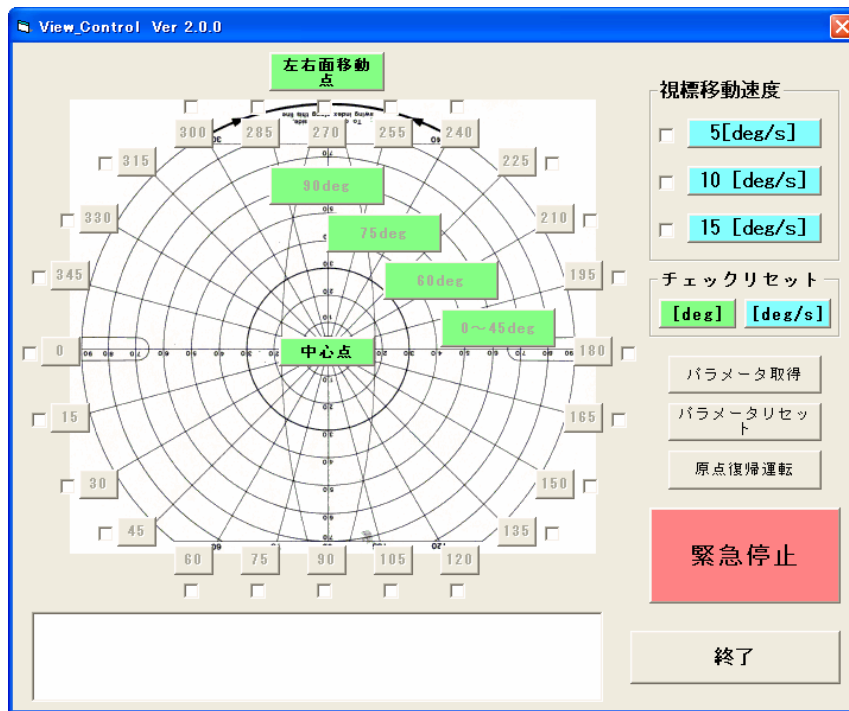


図 3.9 動的視野計装置用スライダ制御プログラムのフォーム

3. 2. 5 自動化した L-1560 の操作方法

視標が L-1560 のドーム型スクリーンの経線上を曲面直線移動する動作は、取り付けた電動スライダの直線前後移動で完全自動化出来ており、制御用 PC 上の動的視野計装置用スライダ制御プログラムのコマンドボタン一つで任意移動速度での視標移動が可能である。

しかし、ドーム型スクリーンの経線の角度の変更は手動で行う。本来、電動スライダ自体を回転させるだけで自動化出来そうではあるが、ゴールドマン視野計装置特有のギミックに問題があり、簡単には解決できなかった。そのため、視標を移動させる経線方向の変更だけは手動で行っている。経線方向も 5[deg]毎に変更していくことができるが、本研究では 15[deg]毎に測定していく。

4. 認知心理学実験方法

4. 1 実験装置

本研究で用いた実験装置は3. 認知心理学実験装置に記述してある，単純反応時間測定器，動的視野測定装置，静止視力検査装置の3つである．

4. 2 実験場所

単純反応時間測定及び動的視野測定では，被験者の視野内に実験装置の光源以外の光が入らないよう，四方の側壁と天井を暗幕で覆った暗室内で実験を行う．

4. 3 被験者

被験者は21～27歳の若年者7名と，63～92歳の高齢者20名の計27名である．被験者27名の詳細を表4.1に示す．静止視力は右目単眼での測定である．

なお，本実験では眼鏡による矯正を行わない状態で測定を行う．

表4.1 被験者の詳細

若年者			高齢者					
被験者名	年齢	性別	被験者名	年齢	性別	被験者名	年齢	性別
SK (21)	21	男	SK (63)	63	男	SK (73)	73	男
KN (21)	21	男	SM (65)	65	男	MM (76)	76	女
TM (23)	23	男	KA (66)	66	男	MN (78)	78	女
YS (24)	24	男	YN (67)	67	男	TY (78)	78	女
TH (24)	24	男	TM (69)	69	男	IS (79)	79	女
ST (26)	26	男	IA (70)	70	女	KN (80)	80	女
HK (27)	27	男	FI (70)	70	女	SF (80)	80	男
			TB (70)	70	女	YK (84)	84	女
			HN (71)	71	男	HK (87)	87	男
			HS (72)	72	女	HM (92)	92	男

4. 4 実験方法

本研究では，単純反応時間の測定，動的視野面積の測定と静止視力の測定を行う．

4. 4. 1 単純反応時間測定

(1) 実験目的

動的視野測定において，被験者が視標を明視してから応答スイッチを押すまでの反応時間を測定することが目的である．

(2) 実験環境

単純反応時間測定は動的視野測定と同じ条件で行う．そのため実験場所は暗室内で，被験者に左目をガーゼで覆ってもらい右目単眼での測定を行う．このとき，眼鏡による矯正は無い．

反応刺激となるLEDは視野計装置の半球型ドーム中心地点に設置し，LEDの輝度は117[cd/m²]になるよう可変抵抗器で調整する．このとき，視野計装置の半球型ドームの背景輝度は動的視野測定と同じ10[cd/m²]である．

図4.1に単純反応時間測定の風景を示す．(a)は単純反応測定器の反応刺激部にカバーを付けないφ

30 の状態での写真である。(b)は $\phi 9$ のカバーを付けた状態での写真である。 $\phi 0.6$ のカバーを付けた状態の写真は割愛する。

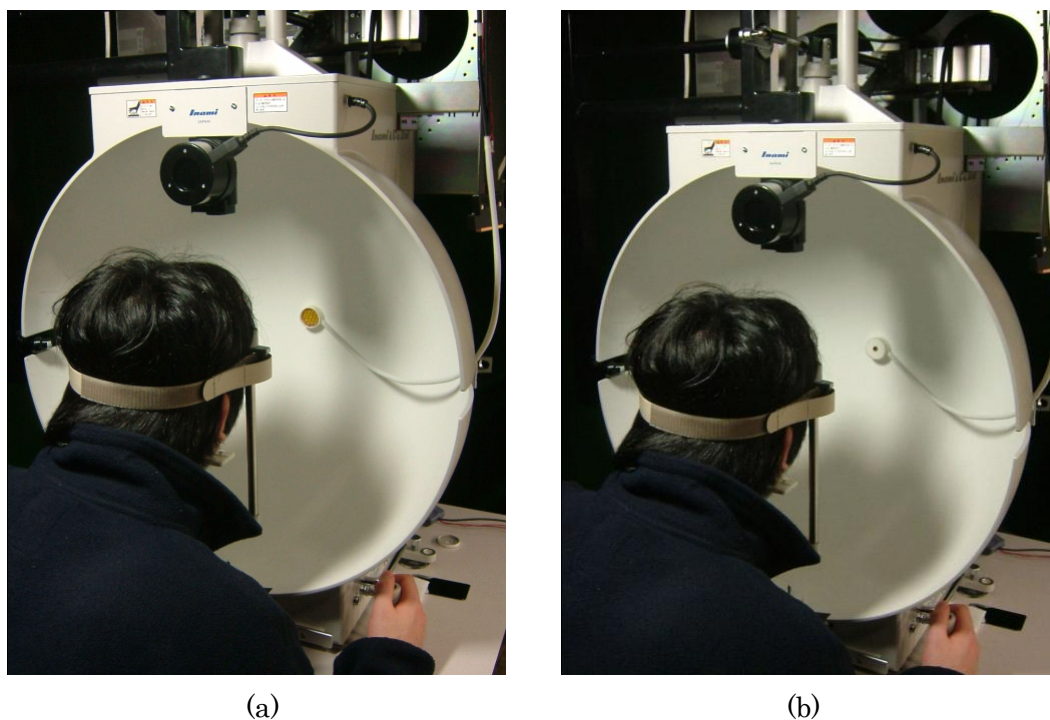


図 4.1 単純反応時間測定風景

(3) LED 刺激条件

LED 刺激のサイズは $\phi 30[\text{mm}]$ ，視角 $6[^\circ]$ の大きさである。また若年者は $\phi 9[\text{mm}]$ ，視角 $3.4[^\circ]$ と $\phi 0.6[\text{mm}]$ ，視角 $0.2[^\circ]$ のカバーをつけて測定する。

この $\phi 9$ のサイズは動的視野測定の視標サイズ V と同じである。同様に， $\phi 0.6$ のサイズは動的視野測定の視標サイズ I と同じである。

LED 刺激の輝度は $117[\text{cd}/\text{m}^2]$ で，黄色の LED を使用している。

(4) 準備

単純反応時間測定器を制御用 PC の LPT ポートに接続し，視野計装置用応答スイッチを視野計装置から外して制御用 PC のマウスに接続する。接続が完了したら単純反応時間測定器の LED 刺激部を視野計装置の半球型ドーム中心地点に設置する。

単純反応時間測定器の制御は，制御用 PC 上の実行プログラム『Reaction.exe』によって行う。このプログラムは Visual Basic で作成し，I/O 制御関数を設定しているため D/A ボードを介さずに制御用 PC と単純反応時間測定器との直接制御が可能である。

制御用 PC 上で『Reaction.exe』を起動し，実験日の日時，天候と被験者の名前，性別，年齢と実験室内の気温，湿度を入力し，記録する。

次に被験者には左目に眼帯をして視野測定装置の前に座ってもらい，アゴ台で頭を固定する。この後，視野計装置の半球型ドームの背景輝度に慣れるよう，3 分間の明順応を行ってもらう。

(5) 実験の実行

被験者に明順応を行ってもらった後、制御用 PC 上の『Reaction.exe』で 30 回の単純反応時間の測定をしてもらう。被験者の視界中心にある LED 刺激が点灯したら直ぐに、応答スイッチを押してもらうだけの簡単な作業であり、一人当たりの測定時間は 2 分弱である。反応時間は Microsoft Excel 上に記録され、測定した 30 回分の反応時間を平均した値をその被験者の単純反応時間とする。

単純反応時間の測定は、若年者では反応刺激サイズ $\phi 30, \phi 9, \phi 0.6$ の 3 種類を用いて行い、高齢者では反応刺激サイズ $\phi 9$ の 1 種類で測定する。単純反応時間測定の流れを図 4.2 に示す。

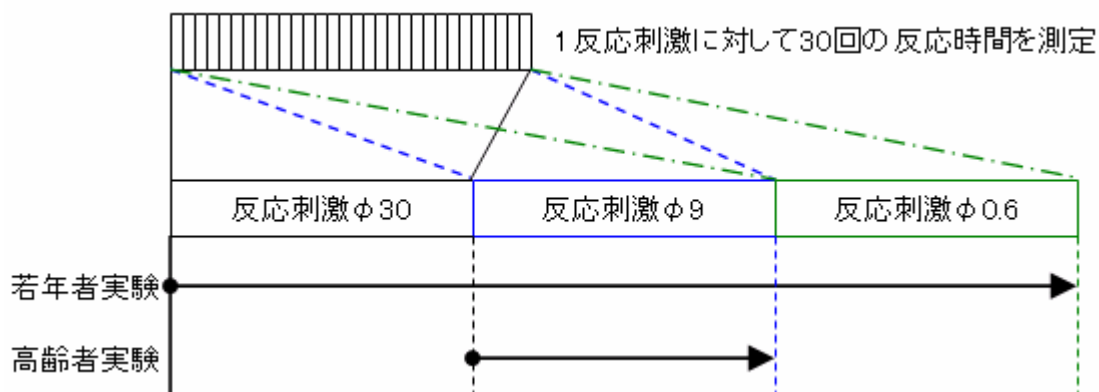


図 4.2 単純反応時間測定の流れ

4. 4. 2 動的視野測定

(1) 実験目的

従来の動的視野測定では患者の白内障や緑内障といった眼の疾患を検査することが目的である。しかし本研究では人の動的視野面積が視標輝度、サイズや色に加え、加齢による影響でどのように変化するかを測定によって知ることが目的である。

(2) 実験環境

動的視野測定は、被験者の視界内に視野計装置の半球型ドームの背景輝度以外の光が入らないよう、暗室内で行う。動的視野面積は右目単眼で測定を行うため、被験者の左目は眼帯で覆わせてもらう。なお、被験者には裸眼で測定をしてもらうため、眼鏡等による矯正は無い。

また、被験者は視野計装置のアゴ台に頭を固定するため、視界は視野計装置の半球型ドームに覆われる。この半球型ドームの背景輝度は $10[\text{cd}/\text{m}^2]$ であり、背景輝度の調整は視野計装置付属のライトメータを用いて行う。

図 4.3 に動的視野測定の流れを示す。



図 4.3 動的視野測定風景

(3) 視標条件

視標の輝度，サイズ，色，移動速度の条件は図 4.4 の通りである．

ゴールドマン視野計装置を操作することを考慮すると，以下のように表記できる．

$V_{4e}(W) : \phi 9,117.2[\text{cd}/\text{m}^2]$, 白色 $V_{4e}(R) : \phi 9,36.4[\text{cd}/\text{m}^2]$, 赤色

$V_{4e}(G) : \phi 9,22.3[\text{cd}/\text{m}^2]$, 緑色 $V_{4e}(B) : \phi 9,16.9[\text{cd}/\text{m}^2]$, 青色

$I_{4e}(W) : \phi 0.6,117[\text{cd}/\text{m}^2]$, 白色 $I_{3e}(W) : \phi 0.6,48.2[\text{cd}/\text{m}^2]$, 白色

これ以降，本論文では $V_{4e}(W)$ を V_4 ， $I_{4e}(W)$ を I_4 ， $I_{3e}(W)$ を I_3 ， $V_{4e}(R)$ を R ， $V_{4e}(G)$ を G ， $V_{4e}(B)$ を B として記述する．若年者での実験では 6 視標条件全ての動的視野測定を行うが，高齢者での実験では長時間に渡る測定が困難であるため， V_4 の 1 視標条件に限定して測定を行う．

なお視標移動速度は図 4.4 の通り，上記の 6 条件に対してそれぞれ 5，10，15[deg/s] の 3 通りの速度がある．よって，視標には 18 通りの条件がある．

また，視標の移動方向である視標経線は図 4.5 に示すように，24 方向（15[deg]毎）を測定するが，盲点を避けるために水平方向は 5[deg] 上方にずらして測定を行う．ただし被験者が高齢者の場合，視標条件と同様，長時間に渡る測定が困難なため，視標経線を 8 方向（45[deg]毎）に減らして測定を行う．

	$V_{4e}(R)$	$V_{4e}(G)$	$V_{4e}(B)$	$V_{4e}(W)$	$I_{4e}(W)$	$I_{3e}(W)$
視標サイズ	$V(\phi 9)$				$I(\phi 0.6)$	
視標輝度	4(117.2[cd/m ²])					3(48.2[cd/m ²])
視標色※	R(赤) 36.4[cd/m ²]	G(緑) 22.3[cd/m ²]	B(青) 16.9[cd/m ²]		W(白) 輝度減少無し	
視標速度	5[deg/s]					
	10[deg/s]					
	15[deg/s]					

※R,G,Bの視標色は着色カバーによる輝度減少が生じる

図 4.4 視標条件

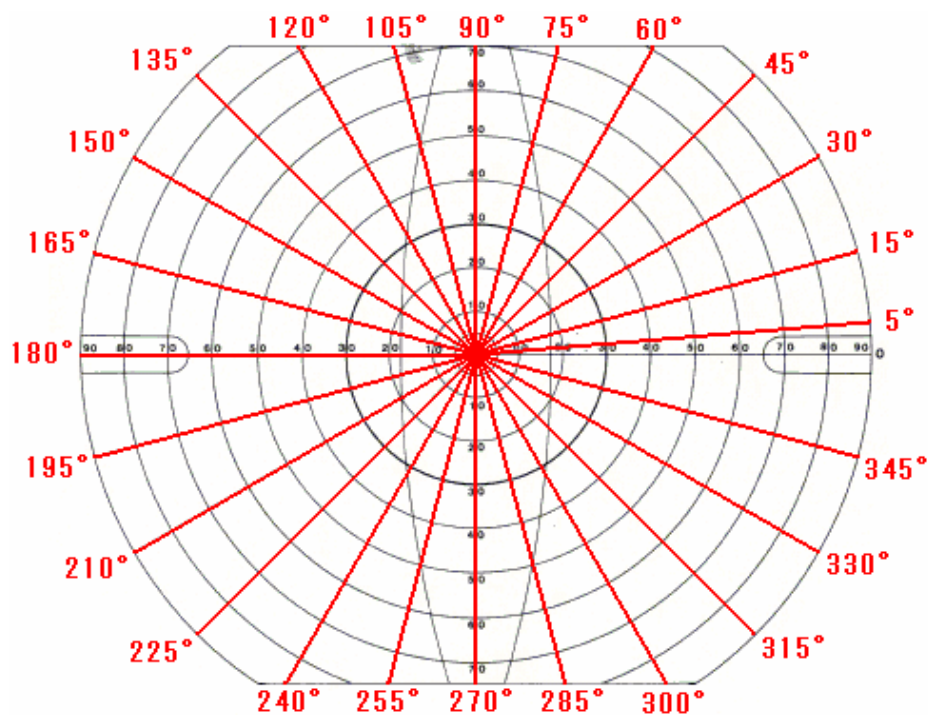


図 4.5 視標経線

(4) 測定の順番

本研究の動的視野測定では、(3) 視標条件 に記している 18 条件の視標で測定をする。これら 18 条件の視標をどの順番で測定していくかを以下に記す。

動的視野面積は、 V_4 、 I_4 、 I_3 、 R 、 G 、 B の順に測定していく。このとき、それぞれの視標条件で 3 種類の視標移動速度を設定しているため、各視標条件で 5, 10, 15[deg/s]の順に視標移動速度を変えて測定を行う。

つまり、始めに視標 V_4 の視標移動 3 速度 5, 10, 15[deg/s]の測定を順に行い、次に視標 I_4 の視標移動 3 速度 5, 10, 15[deg/s]の測定を順に行っていく、という順番になる。

(5) 準備

動的視野測定は単純反応時間測定の直後に開始する実験なので、視野計装置の半球型ドームの背景照明が点灯し、被験者はアゴ台に頭を固定されている状態である。

まず、単純反応時間測定器の LED を視野計装置から外し、制御用 PC のマウスに接続している視野計装置用応答スイッチも外して元の視野計装置に接続する。

次に、視標移動を電動スライダで制御するために、電動スライダのコントローラ機器と制御用 PC の COM ポートを接続する。接続後、制御用 PC 内に作成しておいた電動スライダを制御するための実行プログラム『View_Control.exe』を実行する。

この『View_Control.exe』は Visual Basic で作成した電動スライダの制御プログラムであり、コントローラとドライバを介して電動スライダの駆動を制御している。

(6) 実験の実行

制御用 PC 上で実行している『View_Control.exe』フォーム上の視標移動を行うボタンをクリックしていくことで、自動的に視標が半球型ドームであるスクリーン上を各角度の端部から中心部へ移動し、その後中心部から端部に戻っていく。この工程を若年者では 1 視標 1 視標速度に 24 方向、高齢者では 1 視標条件 1 視標速度毎に 8 方向に対して行っていく。

若年者では 6 視標条件×3 視標速度条件があるので 432 点、高齢者では 1 視標条件×3 視標速度条件があるので 24 点の測定点が得られる。

被験者からの応答は応答スイッチによるもので、視野計装置のオートマッピング機能により、自動的に記録紙に記録されていく。

図 4.6 に動的視野測定の流れを示す。

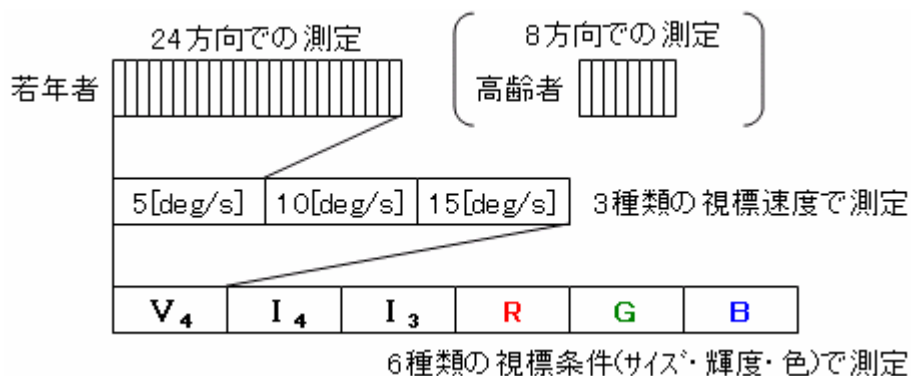


図 4.6 動的視野測定の流れ

4. 4. 3 静止視力測定

(1) 目的

被験者の視能力の目安とするため、一般に行われている静止視力検査を行い、被験者の動的視野測定時の静止視力を記録することが目的である。

(2) 実験環境

静止視力測定においては、被験者の両眼を静止視力検査装置の覗き窓に当てて、視野全体が覗き窓の奥のスクリーンで覆われるため、静止視力検査装置内のスクリーンに背景輝度が左右される。その

ため、実験室内の照明環境に制限はない。なお、スクリーン上の背景輝度は $10[\text{cd}/\text{m}^2]$ である。

また、被験者は裸眼で静止視力測定を行い、眼鏡等の矯正は無い。

(3) 視標条件

視標は従来の静止視力測定で用いられているランドルト環である。ランドルト環の切れ目方向は上下左右の 4 条件になっており、正誤判断は正答率 75% 以上となっている。

(4) 準備

静止視力検査装置の電源を入れるとタッチパネル上に Windows OS が起動する。検査装置には Visual Basic で作成された多機能視力検査プログラム『視力検査プログラム.exe』が入っており、このプログラム上で静止視力検査が実行できる。

被験者に覗き窓に両目を当てて奥のスクリーンを覗いてもらい、『視力検査プログラム.exe』の静止視力検査をタッチパネルで操作、実行する。

(5) 実験の実行

『視力検査プログラム.exe』で静止視力検査を開始すると、被験者が覗いているスクリーン上にランドルト環視標が表示されていく。覗き窓の下方に前後左右 4 方向に倒せるジョイスティックがあり、被験者にランドルト環視標の切り目方向にジョイスティックを倒してもらう。

静止視力測定が完了すると、タッチパネル上に被験者の静止視力値 (0.1~2.0) が表示されるので、その値を記録する。

5. 認知心理学実験結果

5. 1 静止視力測定結果

被験者毎に測定した静止視力の結果を表 5.1, 図 5.1 に記す.

なお, 各被験者の静止視力値は右目単眼による測定結果である.

この静止視力値は被験者の視能力の目安として記録したものである.

表5.1 被験者の静止視力値					
若年者		高齢者			
被験者	静止視力	被験者	静止視力	被験者名	静止視力
SK (21)	1.5	SK (63)	0.5	SK (73)	0.4
KN (21)	1.5	SM (65)	0.6	MM (76)	0.3
TM (23)	0.6	KA (66)	1.0	MN (78)	0.6
YS (24)	1.5	YN (67)	0.8	TY (78)	0.4
TH (24)	2.0	TM (69)	0.7	IS (79)	0.4
ST (26)	0.5	IA (70)	0.3	KN (80)	0.3
HK (27)	2.0	FI (70)	0.4	SF (80)	0.5
		TB (70)	0.3	YK (84)	0.2
		HN (71)	0.2	HK (87)	0.3
		HS (72)	0.5	HM (92)	0.2

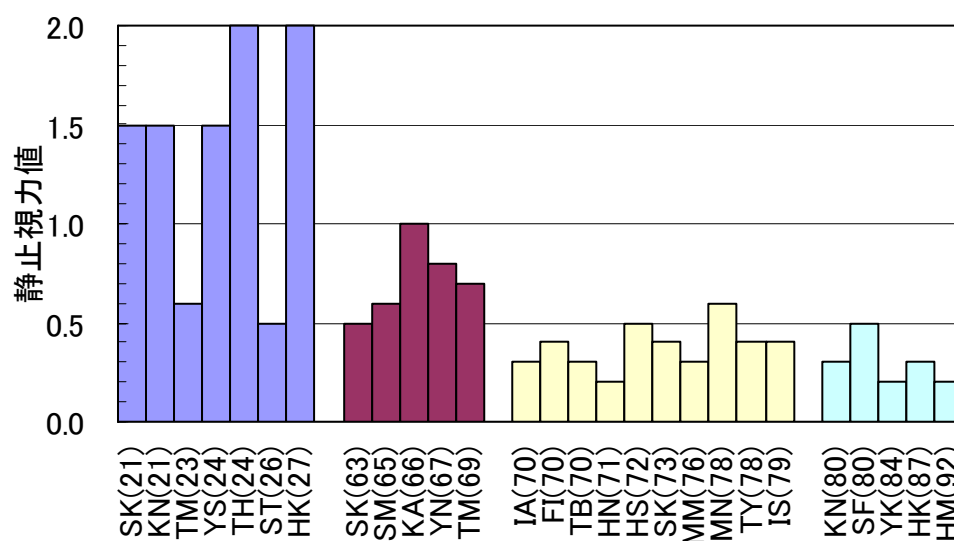


図 5.1 被験者の静止視力

5. 2 単純反応時間測定結果

被験者毎に測定した単純反応時間の結果を記述する.

5. 2. 1 若年者の単純反応時間

若年者の実験では, 反応刺激として $\phi 30$, $\phi 9$, $\phi 0.6$ の 3 つのサイズの LED で反応時間(RT)を測定する.

各条件での RT の測定結果を図 5.2 に示す．図中の X 軸は反応刺激サイズ，Y 軸は反応時間[ms]である．図 5.2 の(a)は average $\pm$ 2SD による外れ値を考慮しない場合の結果，(b)は外れ値を考慮して除外した結果である．

単純反応時間の測定結果としては，外れ値を考慮した図 5.2(b)の結果を利用する．なお，各反応刺激サイズ間での有意の差は認められなかった．

各反応刺激サイズでの平均 RT 値は表 5.2 の通りであり，20 代の各被験者の反応時間を平均した結果を図 5.3 に，その詳細は図 5.4(a)～(c)に反応刺激サイズ別に示している．

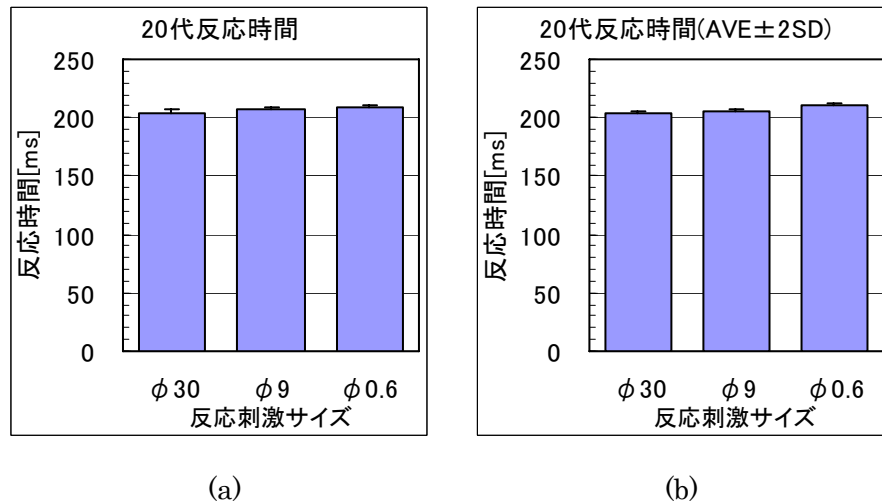


図 5.2 20 代被験者の反応時間の平均 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, 対応のある t 検定)

表5.2 若年者の単純反応時間

被験者名	ϕ 30のRT[ms]	ϕ 9のRT[ms]	ϕ 0.6のRT[ms]
SK(21)	206	210	212
KN(21)	178	185	196
TM(23)	220	222	234
YS(24)	187	189	199
TH(24)	208	213	210
ST(26)	220	209	209
HK(27)	209	213	209
若年者平均RT[ms]	204.0	205.9	209.9

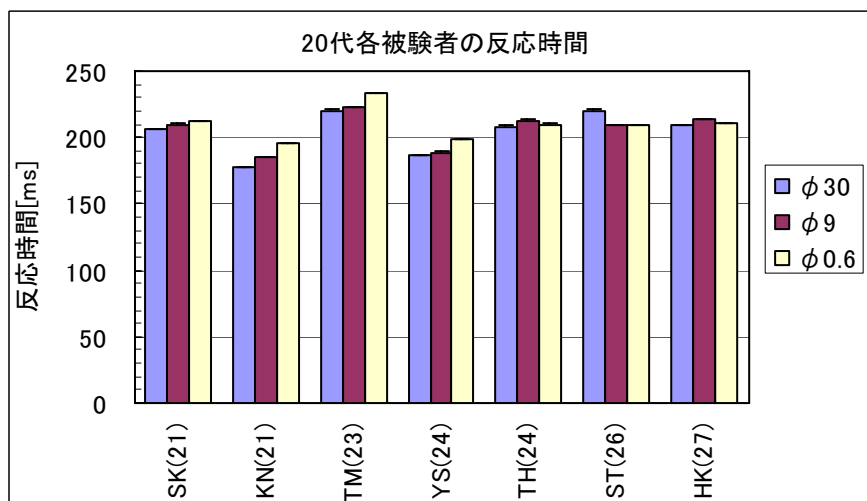
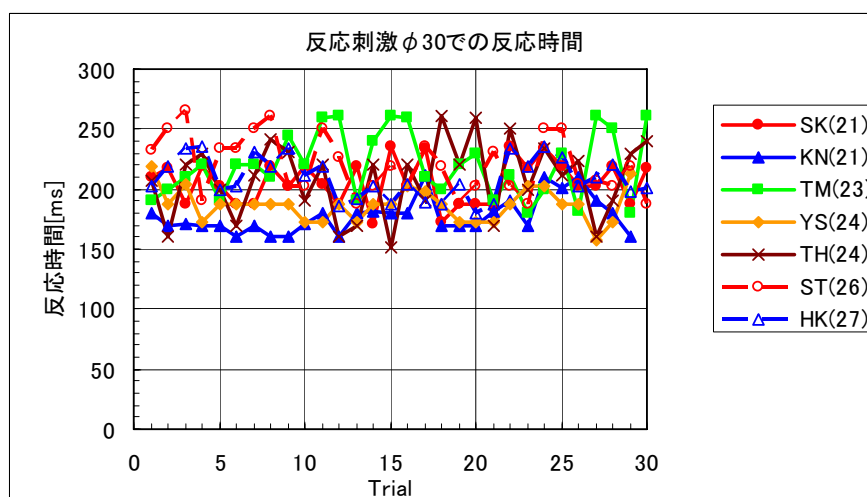
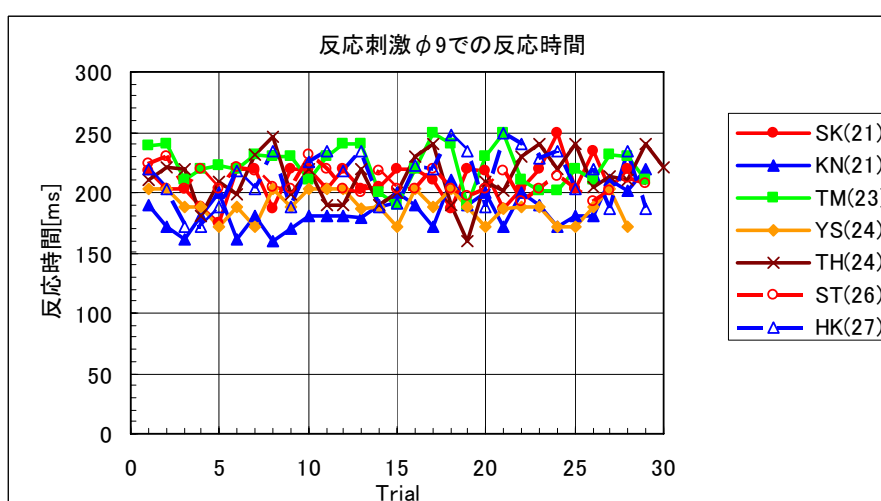


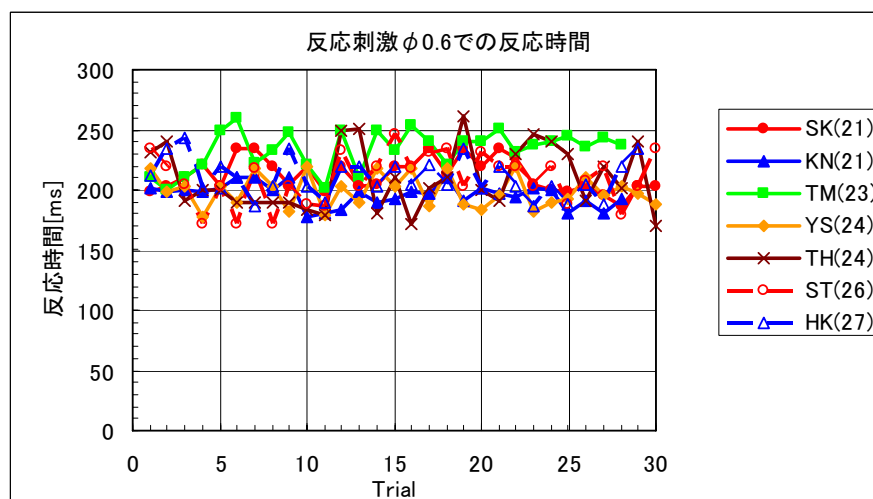
図 5.3 20 代の各被験者の反応時間



(a)



(b)



(c)

図 5.4 20 代被験者の各反応時間の Trial 結果

5. 2. 2 高齢者の単純反応時間

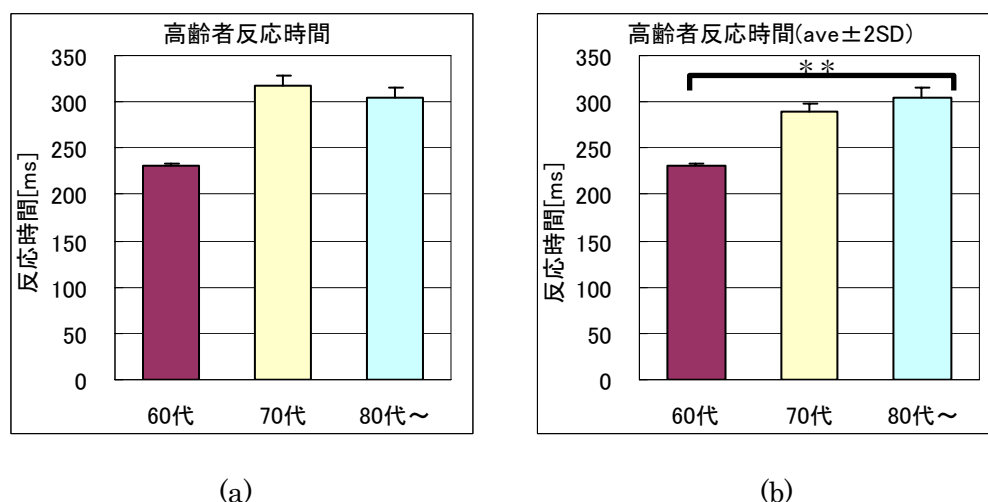
高齢者の実験では、反応刺激としてφ9のサイズのLEDでRTを測定する。

図 5.5 に 60 代, 70 代, 80 代以上の年齢層に分けた反応時間の平均値を示す。図中の X 軸は年齢層, Y 軸は反応時間[ms]である。図 5.5 の(a)は $\text{average} \pm 2\text{SD}$ による外れ値を考慮しない場合の結果, (b)は外れ値を考慮して除外した結果である。また, (b)の結果は外れ値以外にも, 高齢者の反応時間測定の様子(Trial 毎の反応時間)を記した図 5.7(b)において RT の値が落ち着いていない IA(70), HS(72), MM(76)の 3 名のデータを除去している。この原因については, 被験者の身体的理由(利き手が使えないため左手で測定を行った, 集中力が長時間持続しない)であると考えている。

単純反応時間の測定結果としては, 外れ値を考慮した図 5.5(b)の結果を利用する。

なお, 60 代-80 代での有意の差は認められるものの, 60 代-70 代, 70 代-80 代での有意の差は認められなかった。

被験者毎の平均 RT 値は表 5.3 の通りであり, 図示すると図 5.6 のようになる。高齢者の反応時間の詳細は図 5.7(a)~(c)に年齢層に分けて示している。



(a)

(b)

図 5.5 高齢被験者の反応時間の平均 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, 対応のある t 検定)

表5.3 高齢者の単純反応時間

被験者名	RT[ms]	被験者名	RT[ms]
SK(63)	210	SK(73)	281
SM(65)	250	MM(76)	371
KA(66)	235	MN(78)	259
YN(67)	218	TY(78)	239
TM(69)	240	IS(79)	256
IA(70)	408	KN(80)	256
FI(70)	261	SF(80)	317
TB(70)	297	YK(84)	299
HN(71)	229	HK(87)	281
HS(72)	569	HM(92)	270
高齢者平均RT[ms]	287.3		

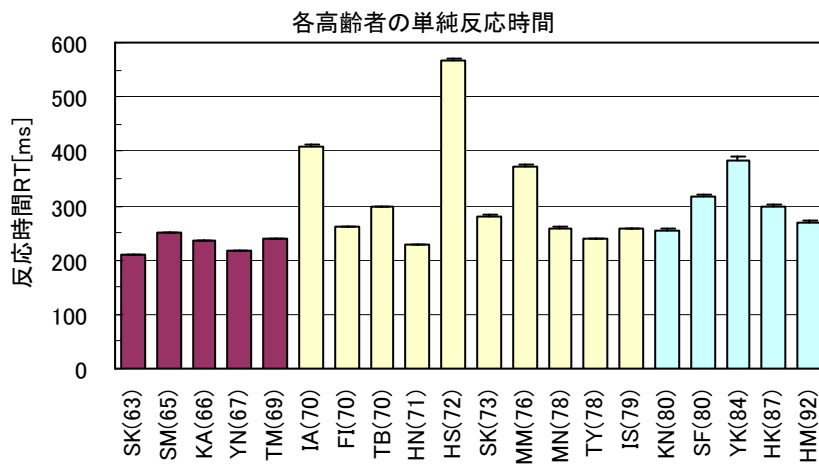
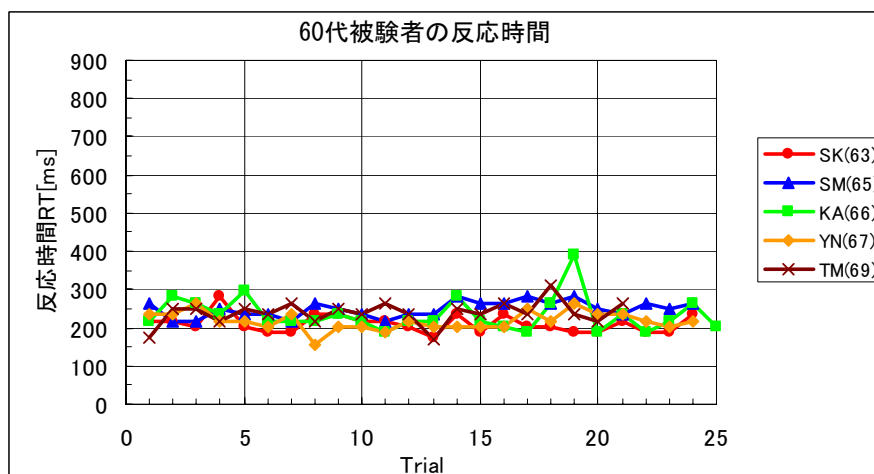
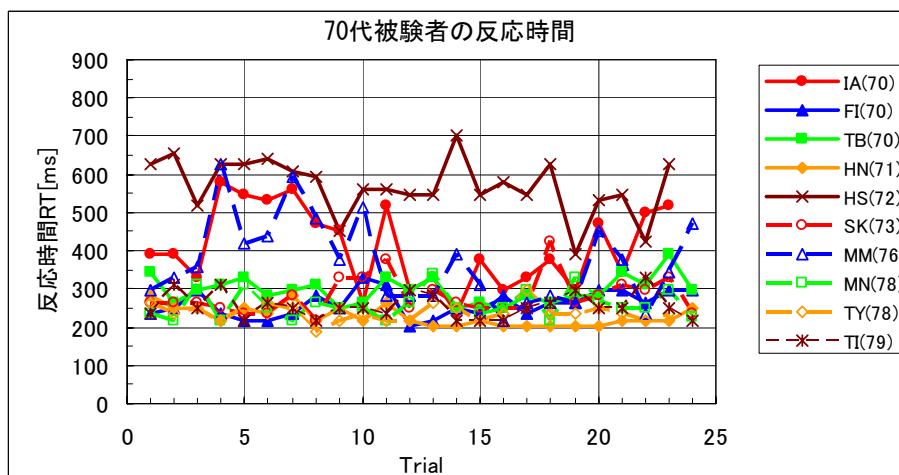


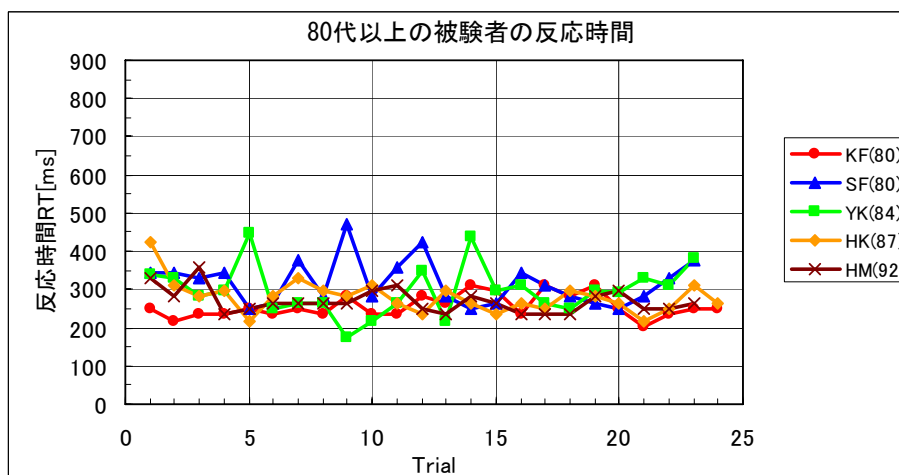
図 5.6 高齢者各個人の単純反応時間の平均



(a)



(b)



(c)

図 5.7 年代別高齢者各個人の反応時間 Trial 結果

5. 3 動的視野測定結果

被験者毎に測定した動的視野面積の結果を記す.

このとき、視野面積の算出方法は図 5.8 のように各応答点の座標 (deg 表示) より算出した. 若年者なら 24 個の応答点, 高齢者なら 8 個の応答点があるため, 各応答点の座標から視野面積を算出する.

また, RT による遅れを考慮して RT を含んだ場合の視野面積を算出する場合, 図 5.8 のように各応答点の数値 $L[\text{deg}]$ に RT による遅延量 $\Delta L[\text{deg}]$ を加算して視野面積を計算する.

なお, 従来研究には長さの単位 ($[\text{cm}^2]$ 等) を用いた表記方法があるが, 本研究では $[\text{deg}^2]$ を視野面積の単位とする. これは, $[\text{cm}^2]$ などで視野面積を記録してしまうと視野計装置の記録紙の大きさ・形に寄って数値の差が生じてしまうと考えたからである.

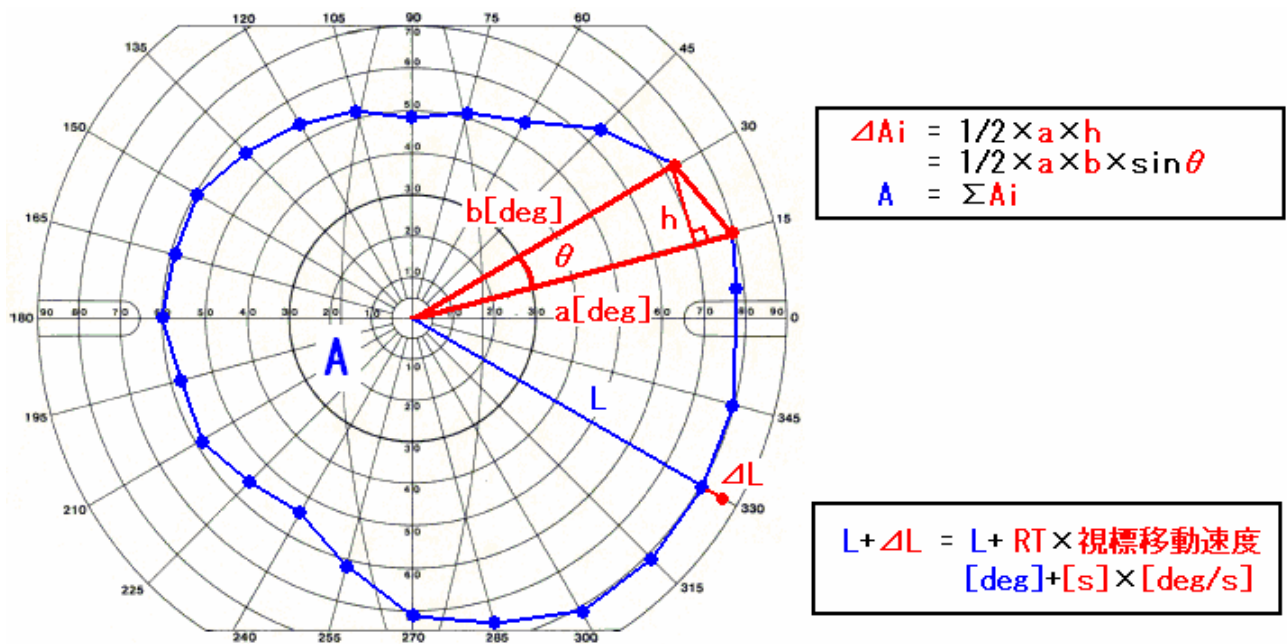


図 5.8 視野面積算出方法

5. 3. 1 若年者の動的視野面積

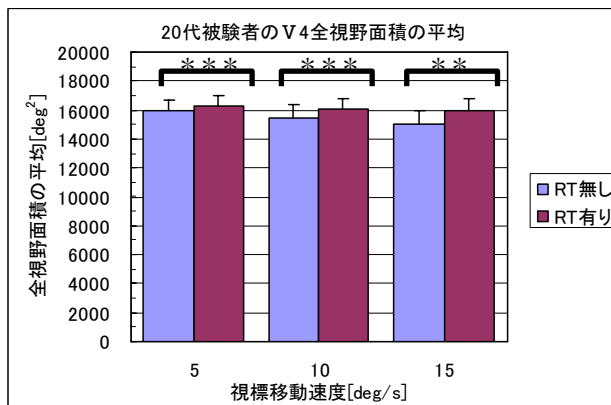
以降に若年者の動的視野測定結果を記す.

5. 3. 1. 1 若年者全視野面積の結果

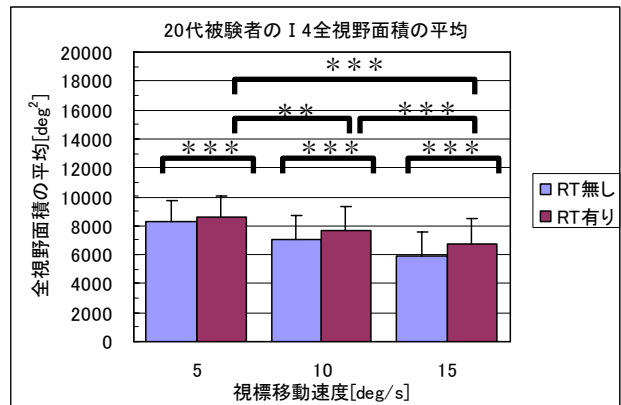
本実験で測定した若年者 7 名の動的視野面積の平均を図 5.9(a)~(f)に示す. 若年者の測定では視標条件が 6 通りあり, それぞれ RT を考慮しない場合と考慮した場合を表示する. また, 図 5.9 の X 軸は視標移動速度 5, 10, 15 $[\text{deg/s}]$ となっている.

対応のある t 検定では, 各視標条件, 各視標移動速度において RT を考慮しない場合と考慮した場合の全視野面積の間には有意の差が認められた.

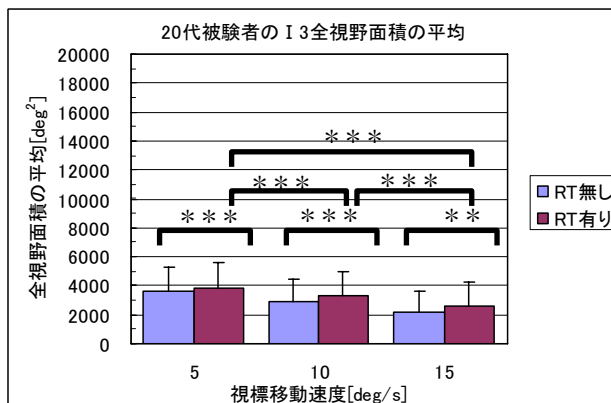
視標サイズの小さい I_4, I_3 では RT を考慮した場合の全視野面積が視標移動速度間でも有意の差が認められている. しかし, 視標サイズの大きい V_4, R, G, R において, RT を考慮した場合の全視野面積では一部を除き視標移動速度間の有意の差は認められていない.



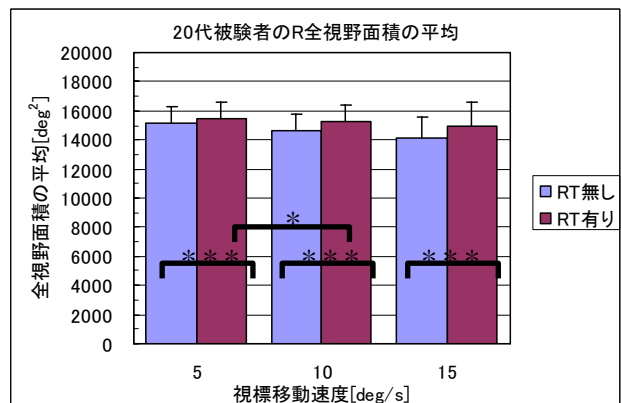
(a) V₄



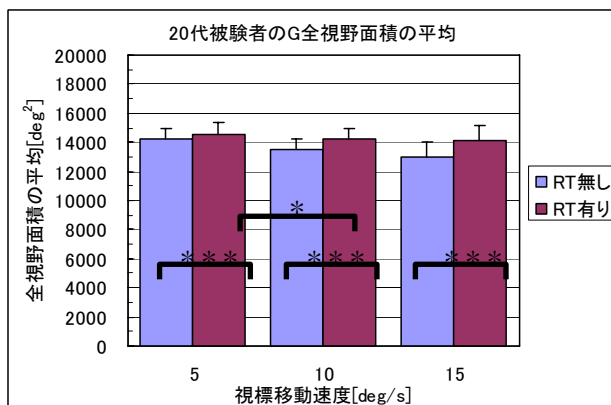
(b) I₄



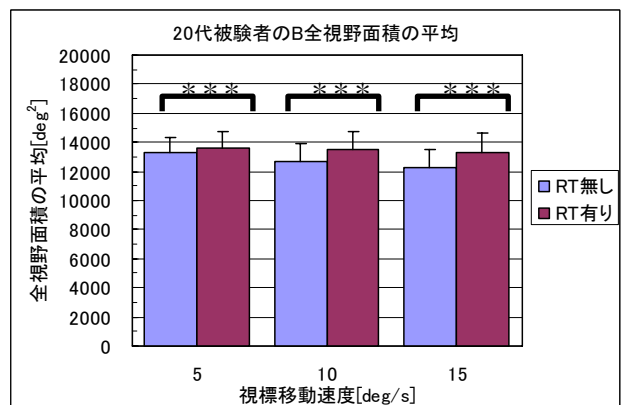
(c) I₃



(d) R



(e) G

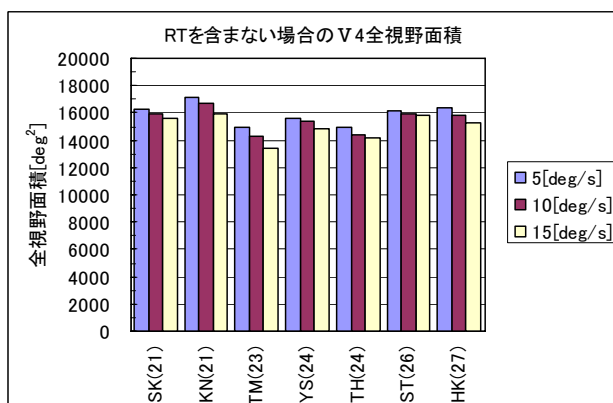


(f) B

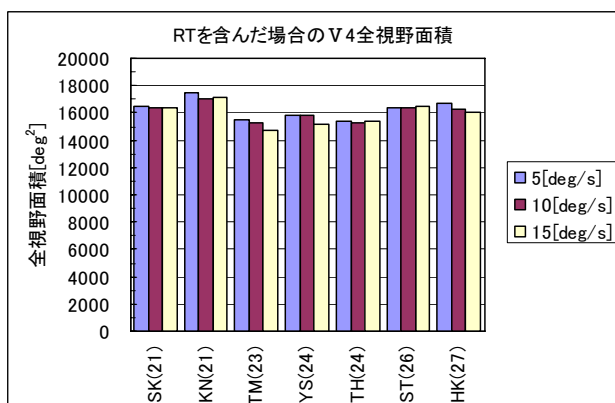
図 5.9 若年者の全視野面積の平均 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, 対応のある t 検定)

5. 3. 1. 2 若年者個人の視野面積の結果

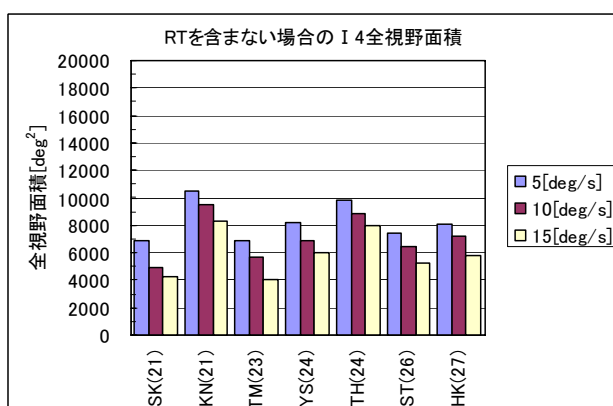
図 5.10 に被験者毎の全視野面積のデータを示す. それぞれ RT を考慮しない従来の形の全視野面積を(a)~(f)に, RT を考慮して算出した全視野面積を(A)~(F)に示している. なお, RT は被験者毎の平均 RT 値を用いている.



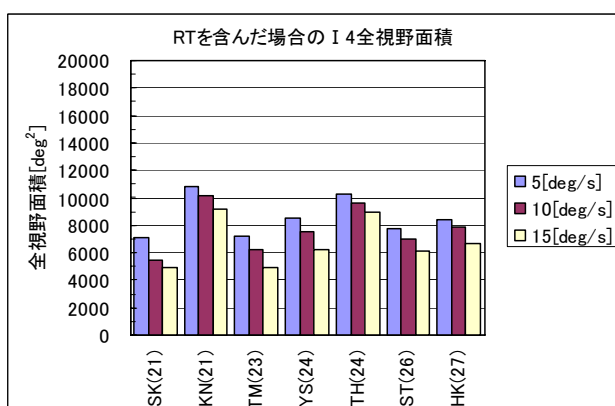
(a) V₄



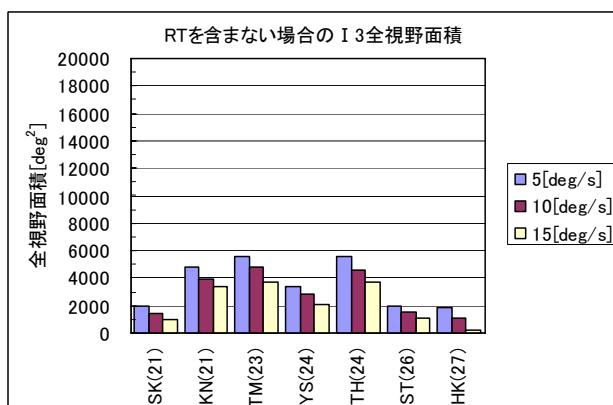
(A) V₄+RT



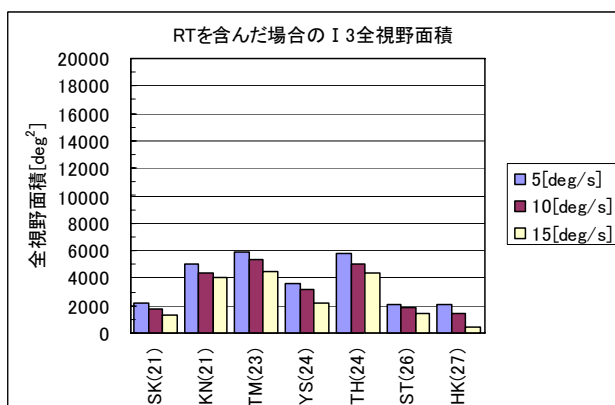
(b) I₄



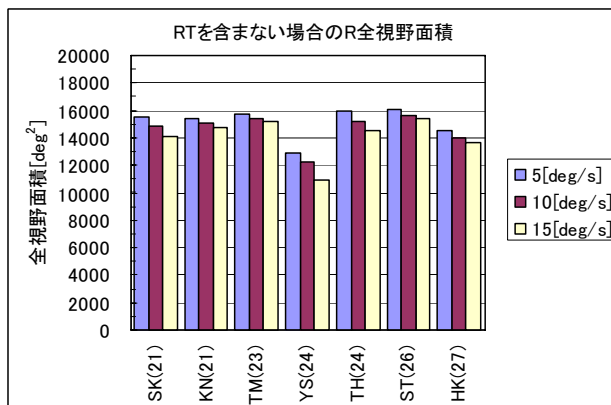
(B) I₄+RT



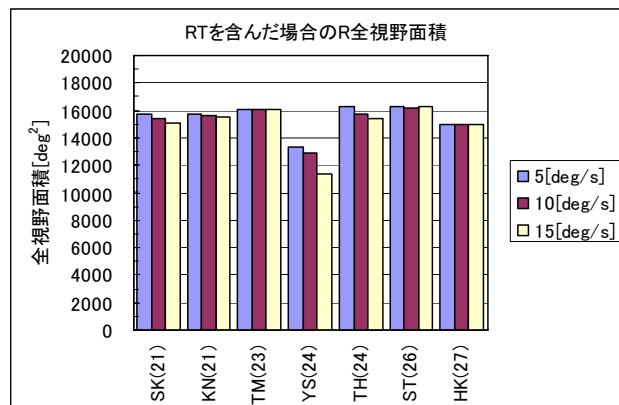
(c) I₃



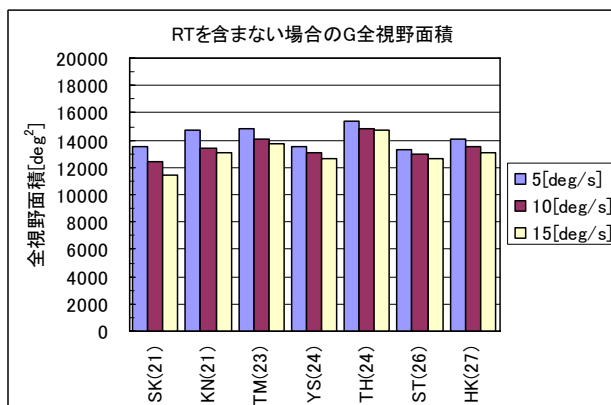
(C) I₃+RT



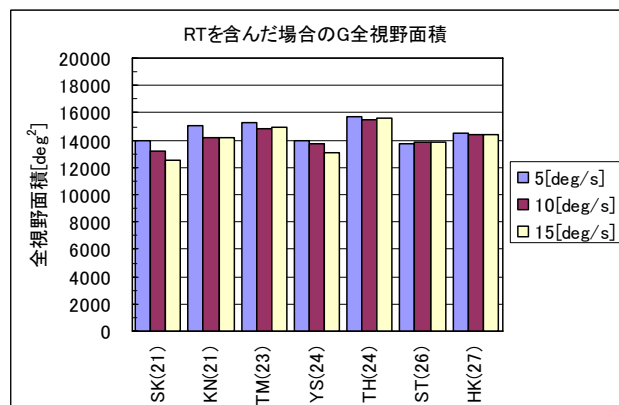
(d)R



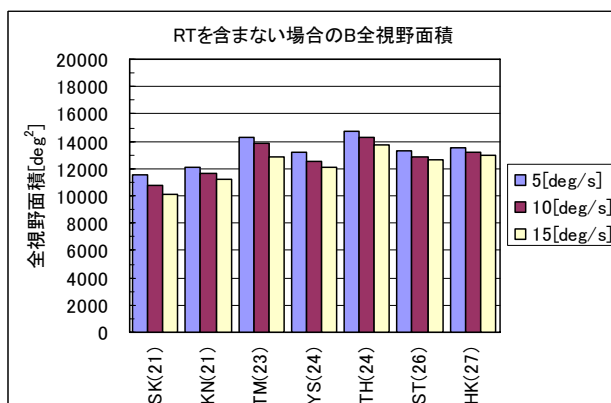
(D)R+RT



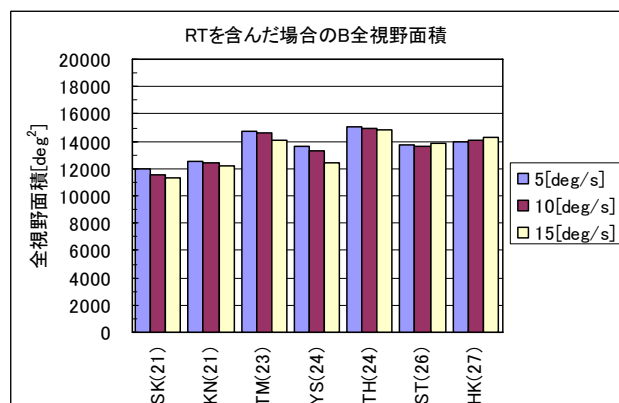
(e)G



(E)G+RT



(f)B



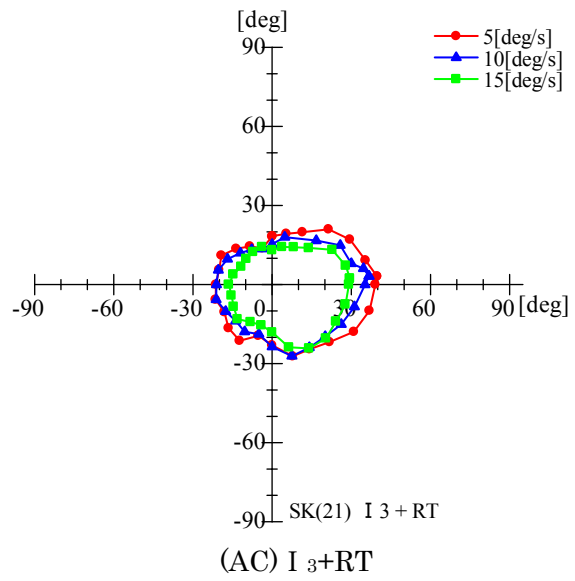
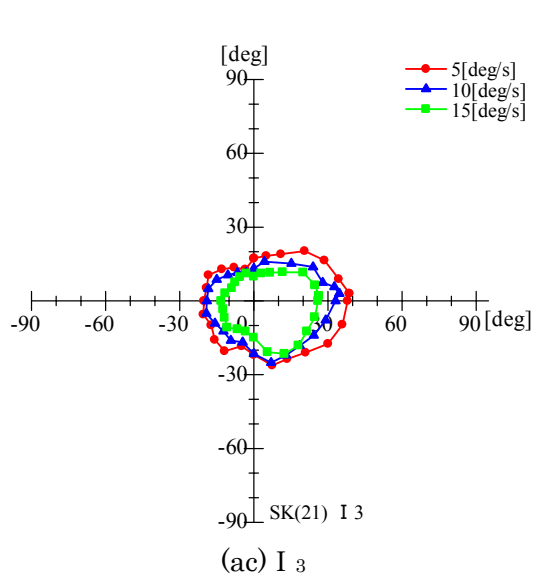
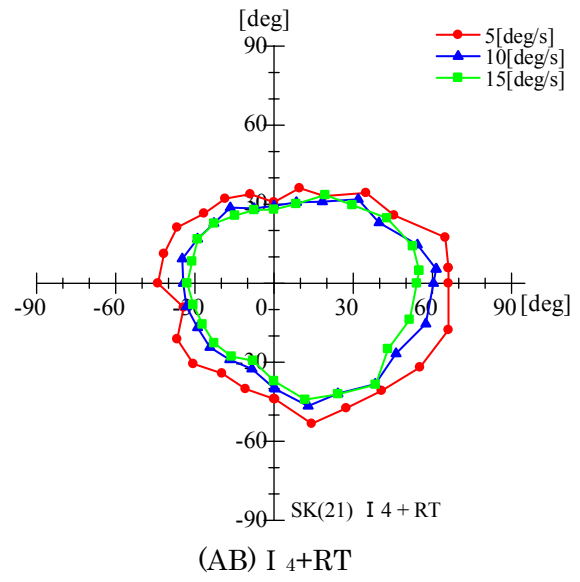
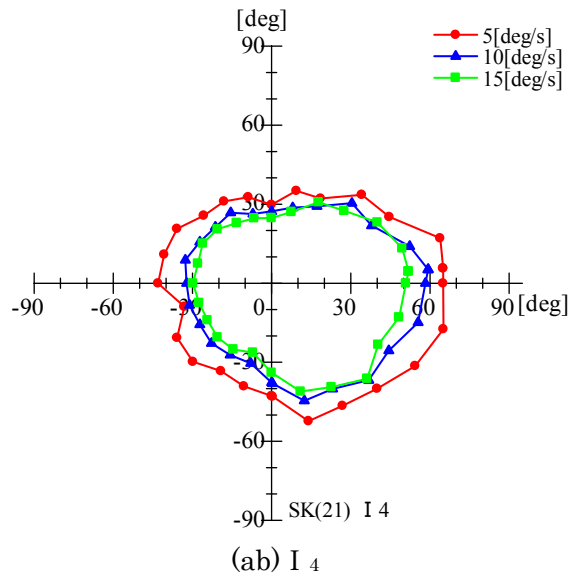
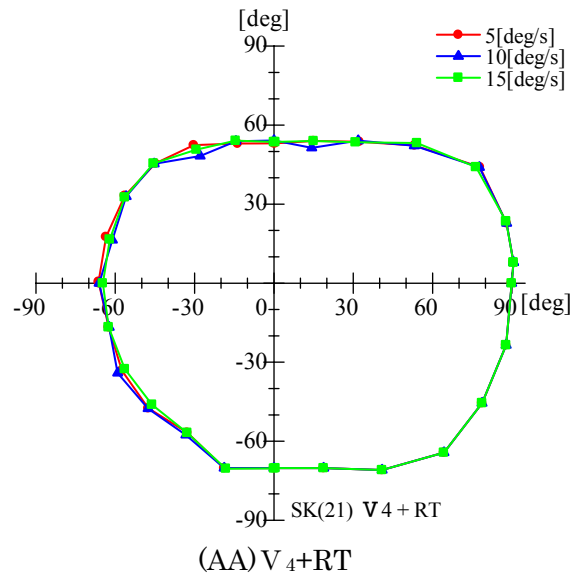
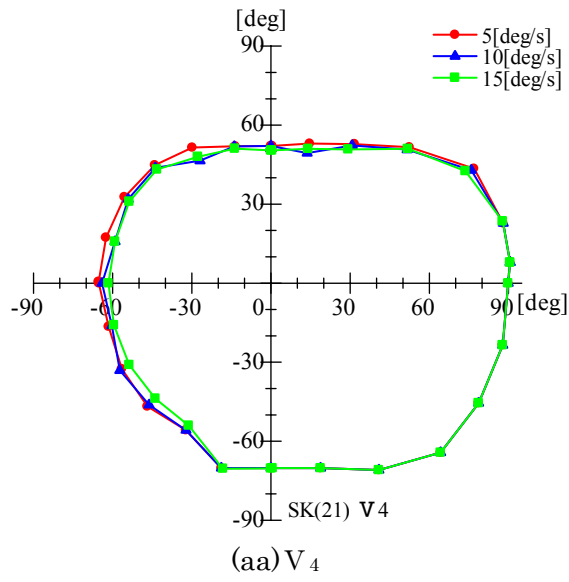
(F)B+RT

図 5.10 各若年者の全視野面積

5. 3. 1. 3 若年者の視野面積の視覚化

図 5.11(a)-(g)に若年者個人別の視野面積を視覚化したグラフを示す。図中の(aa)~(gf)は RT を考慮しない場合の視野面積結果に、(AA)~(GF)は RT を考慮した場合の視野面積結果になっており、被験者・視標条件は図中下部に記載している。

同様に、図 5.12 に若年者の視標条件別視野面積を視覚化したグラフを示す。図中の(aa)~(fc)は RT を考慮しない場合の視野面積結果に、(AA)~(FC)は RT を考慮した場合の視野面積結果になっている。こちらの速度条件・視標条件は図中下部に記載している。



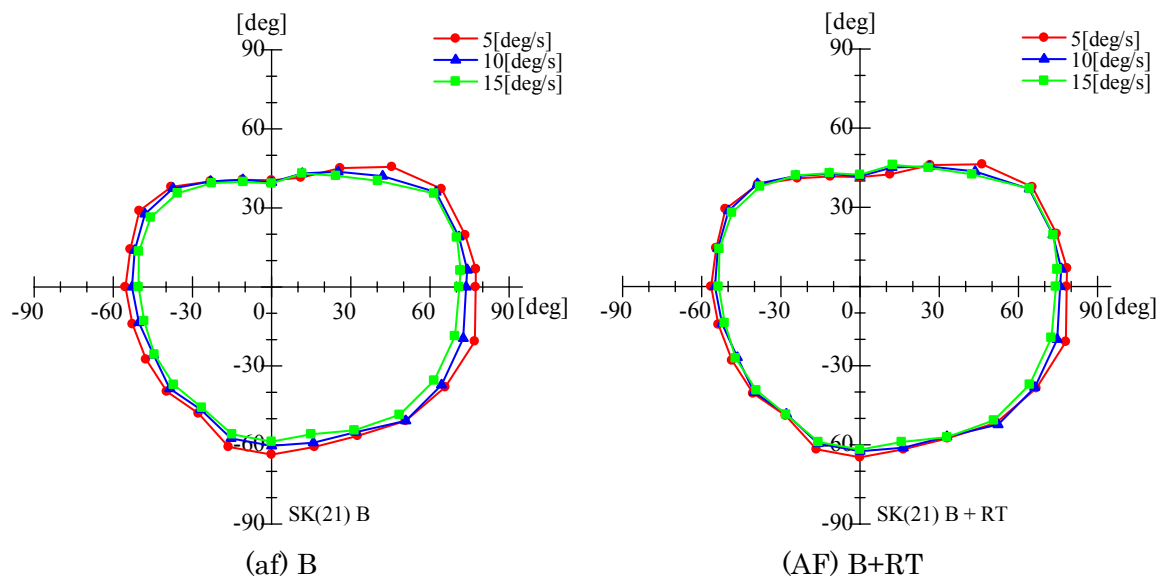
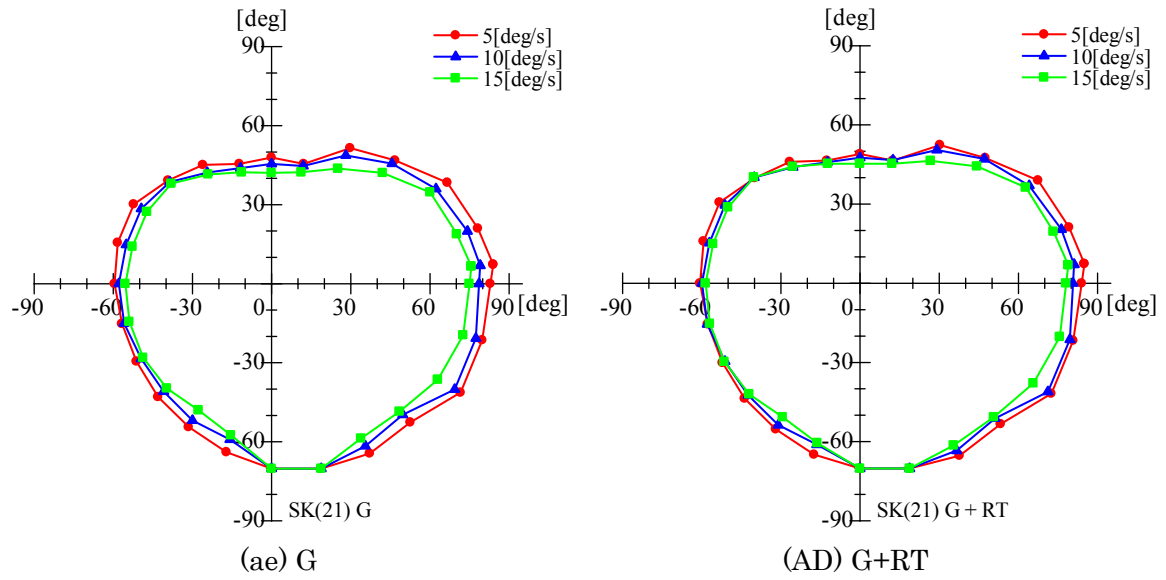
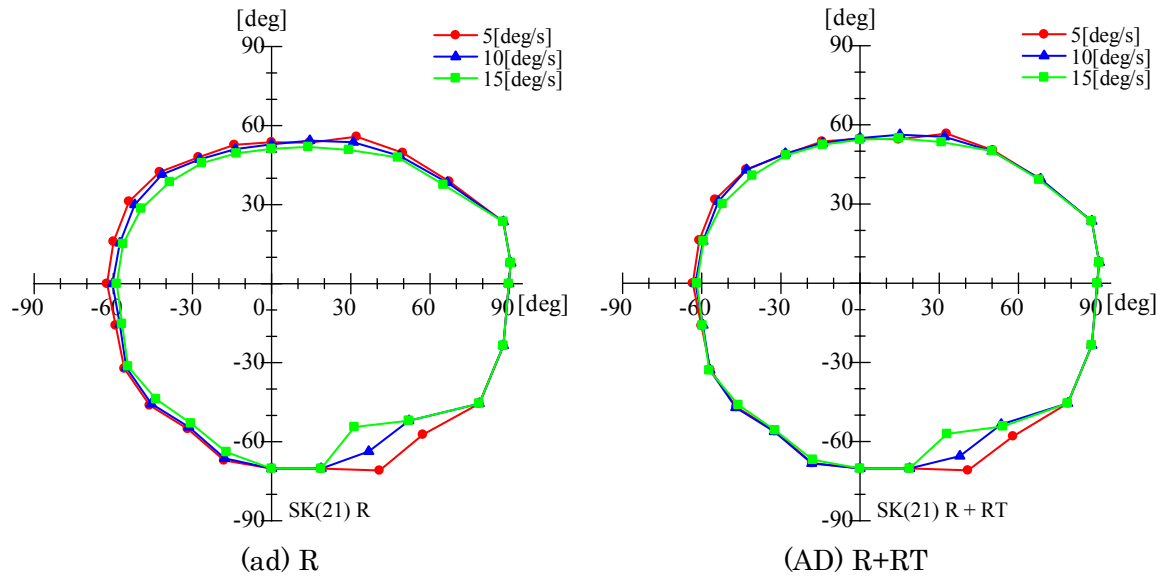
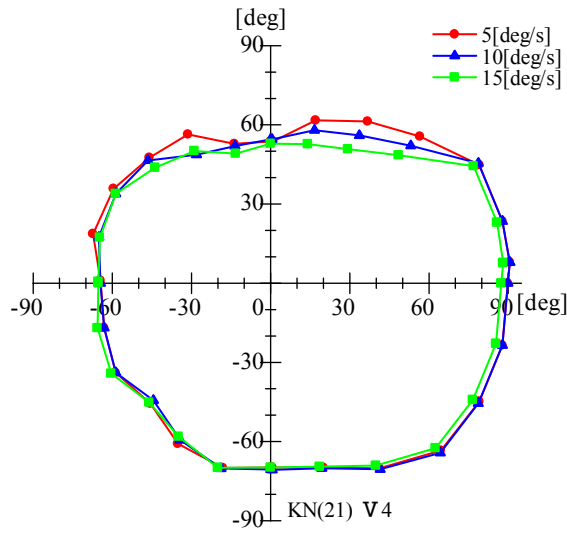
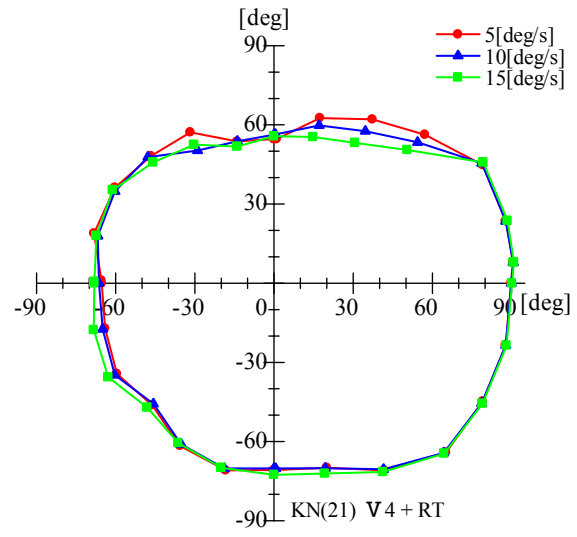


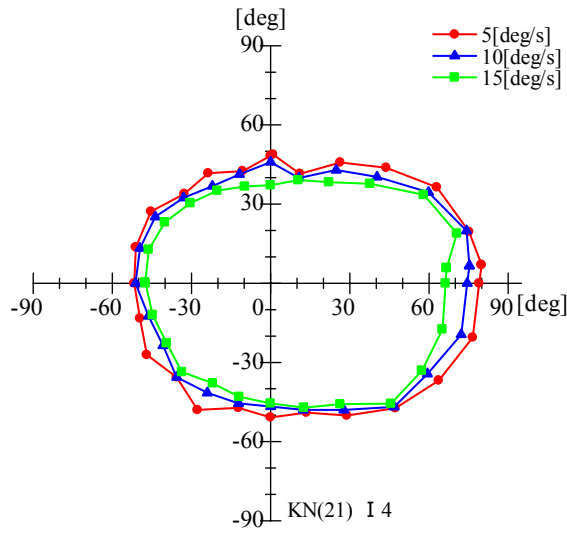
図 5.11 (a) 被験者 SK の動体視野実験結果



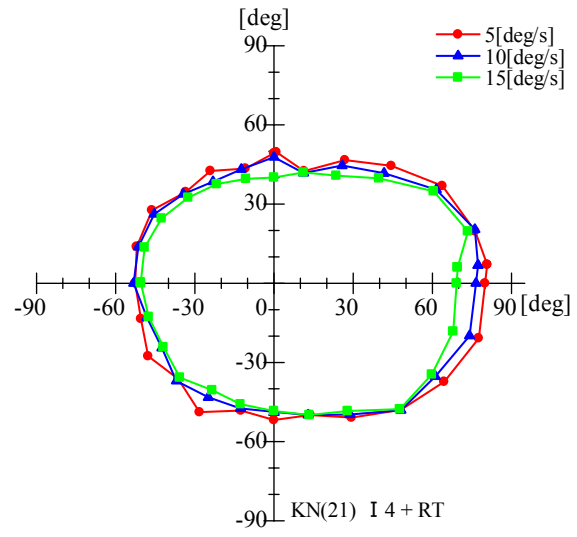
(ba) V₄



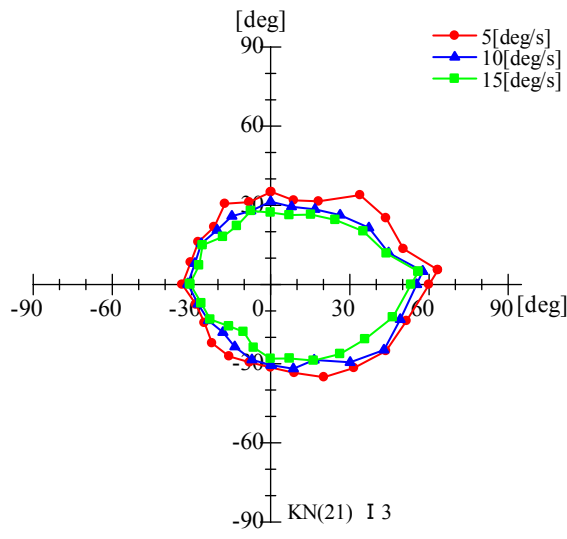
(BA) V₄+RT



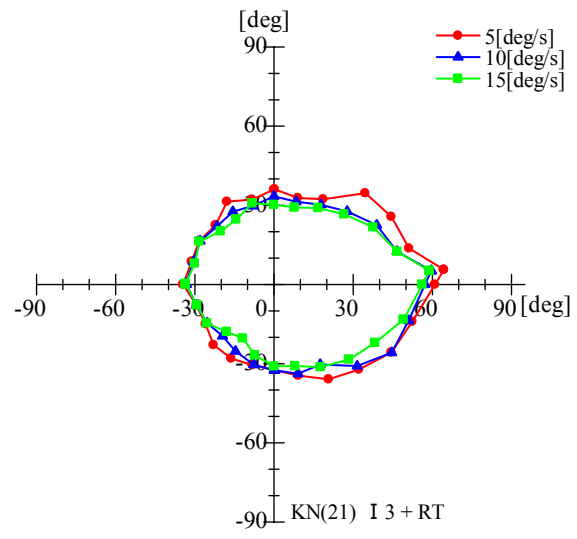
(bb) I₄



(BB) I₄+RT



(bc) I₃



(BC) I₃+RT

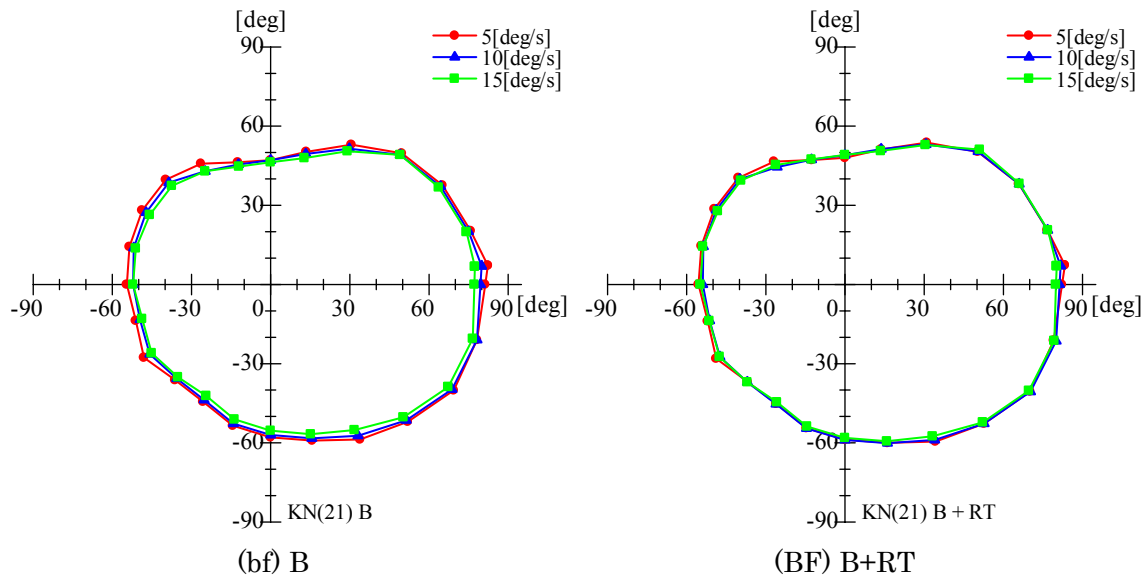
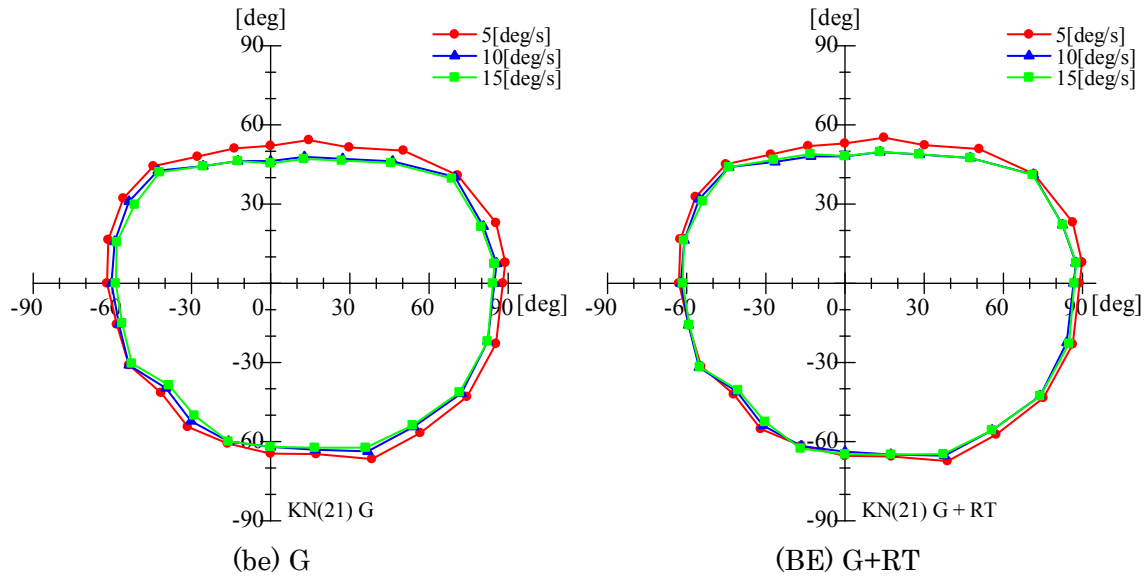
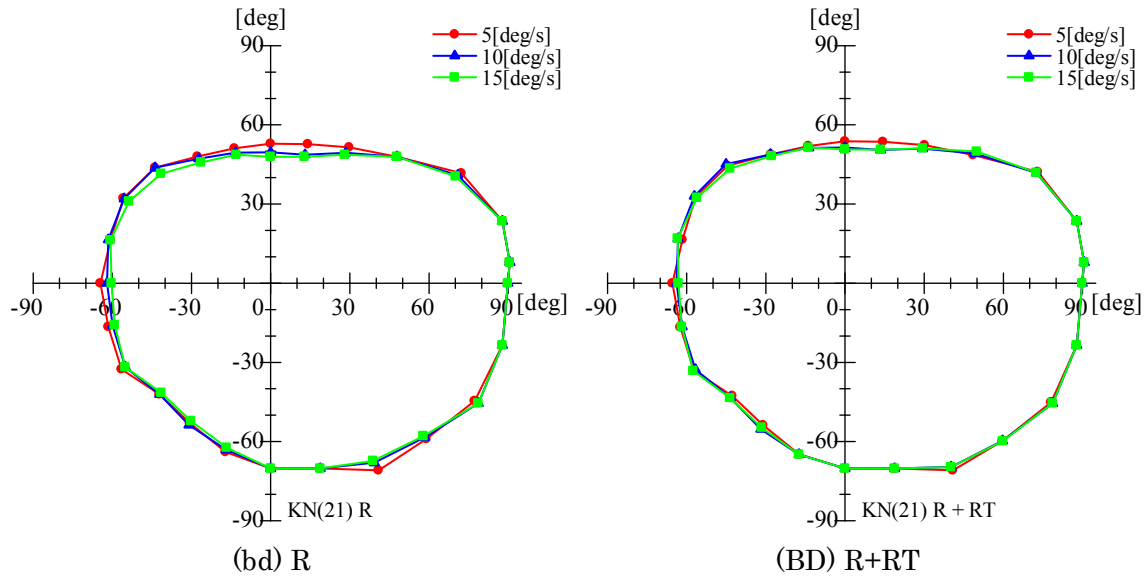
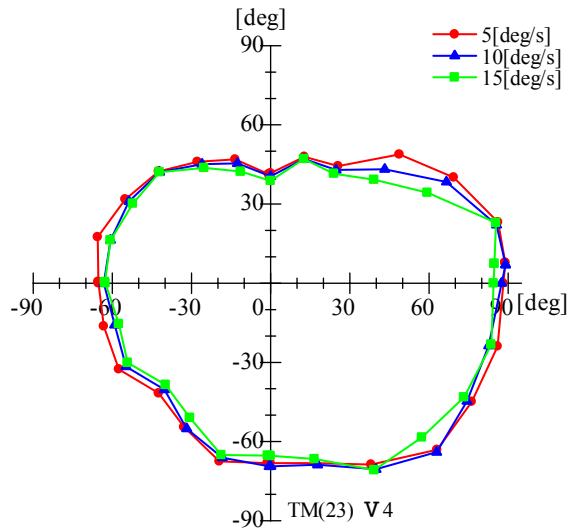
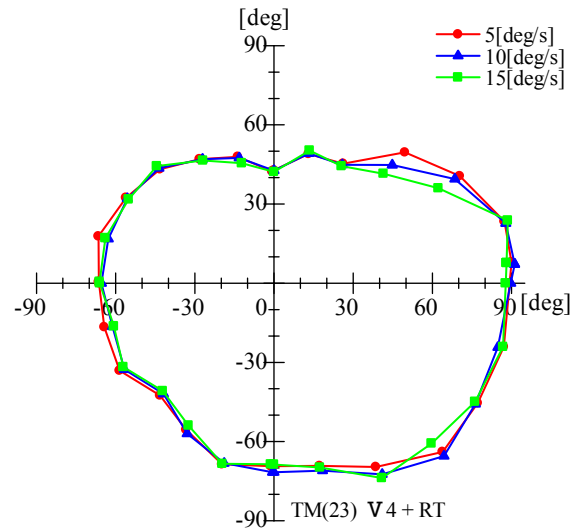


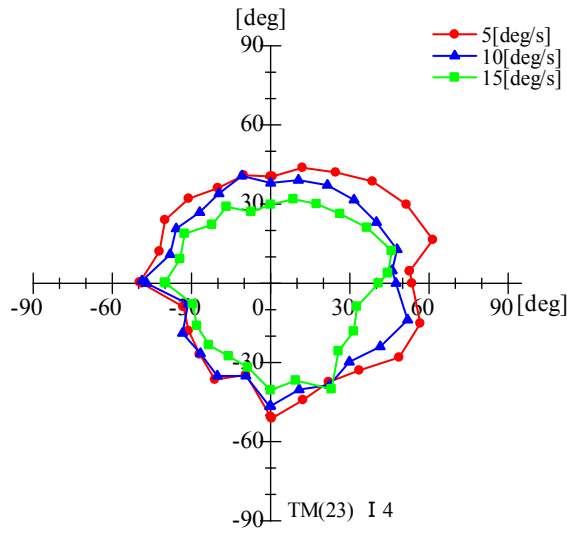
図 5.11 (b) 被験者 KN の動体視野実験結果



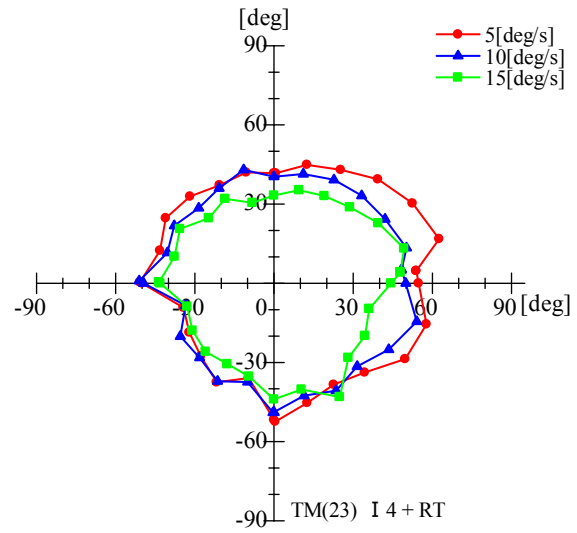
(ca) V_4



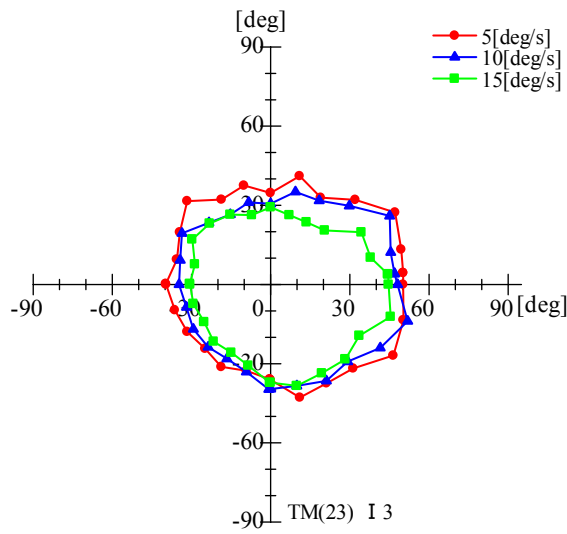
(CA) $V_4 + RT$



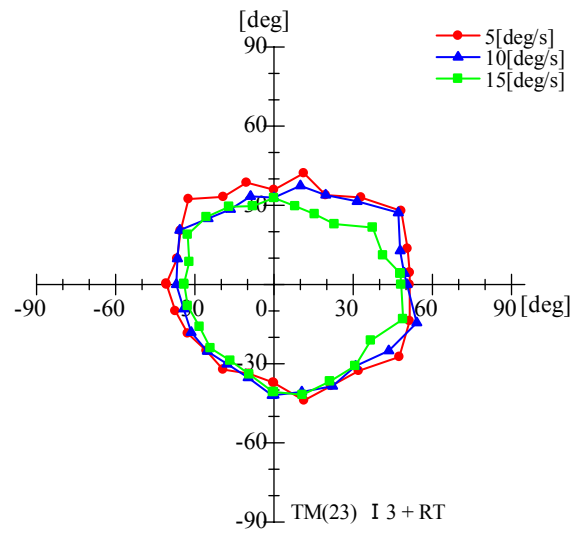
(cb) I_4



(CB) $I_4 + RT$



(cc) I_3



(CC) $I_3 + RT$

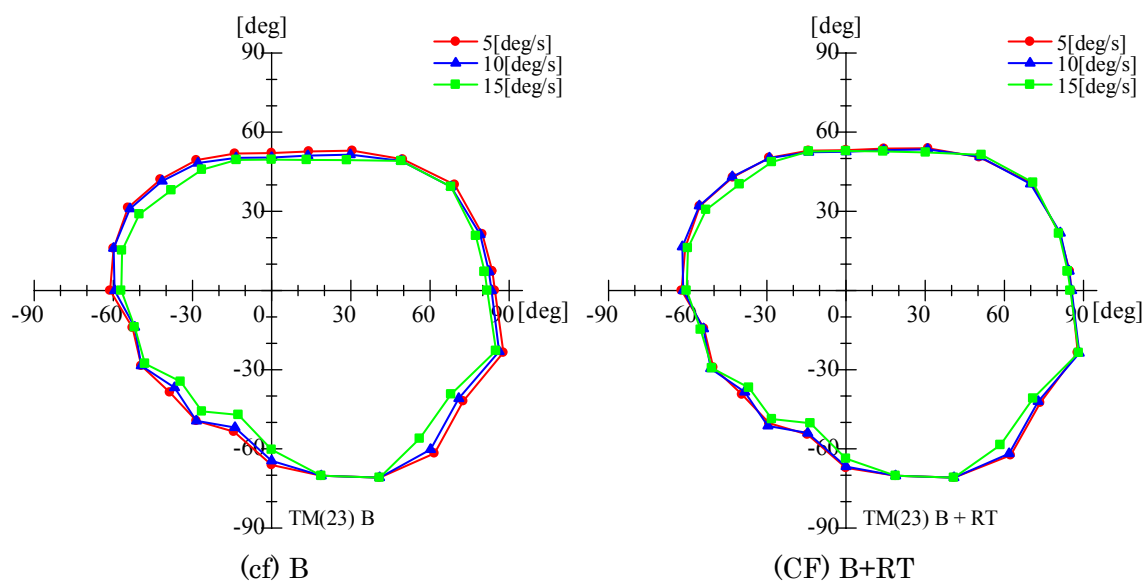
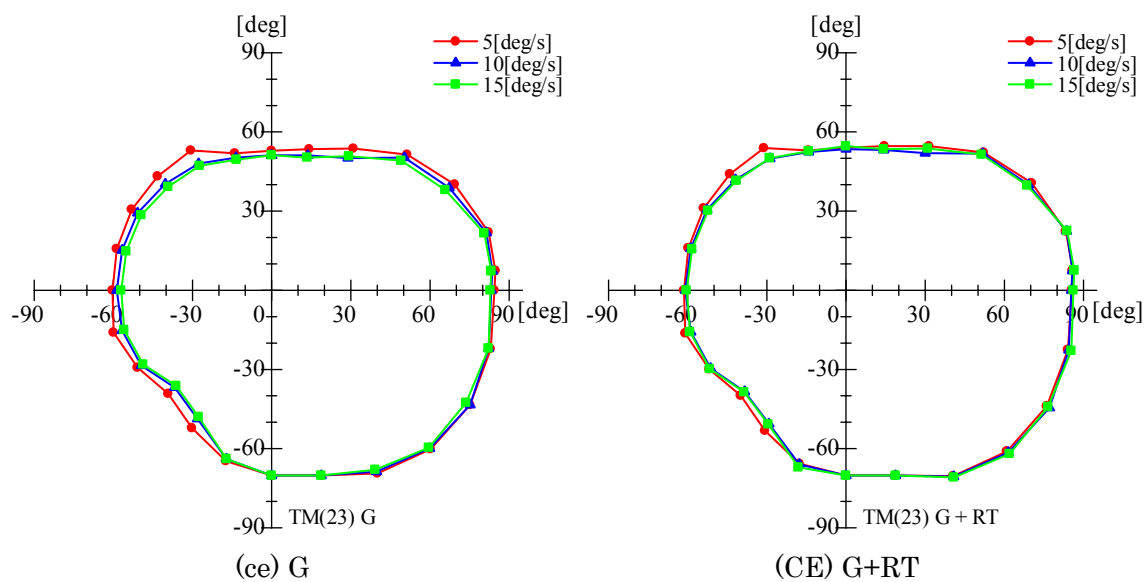
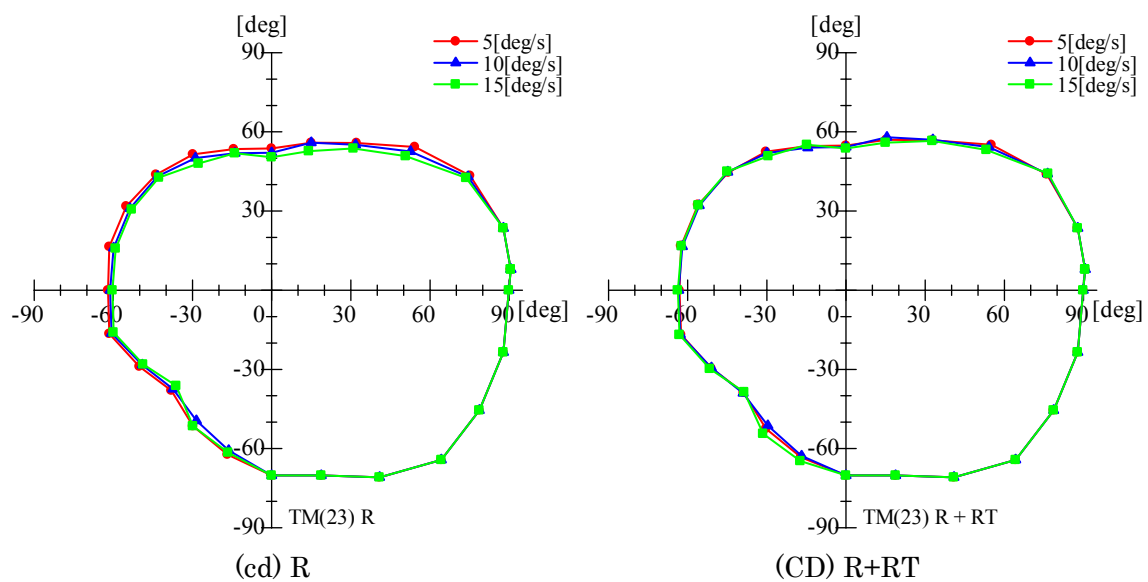
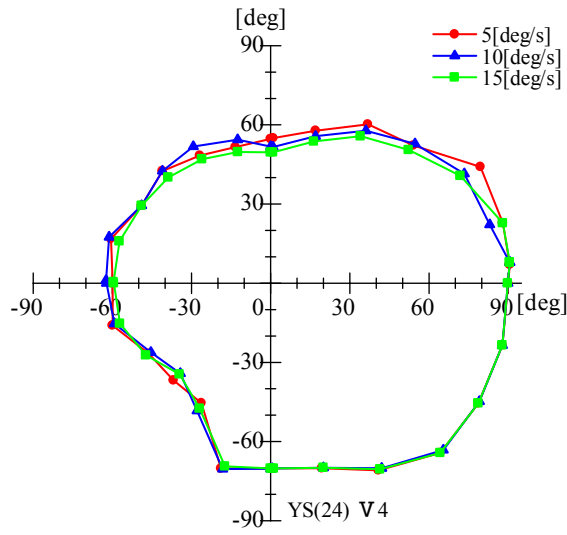
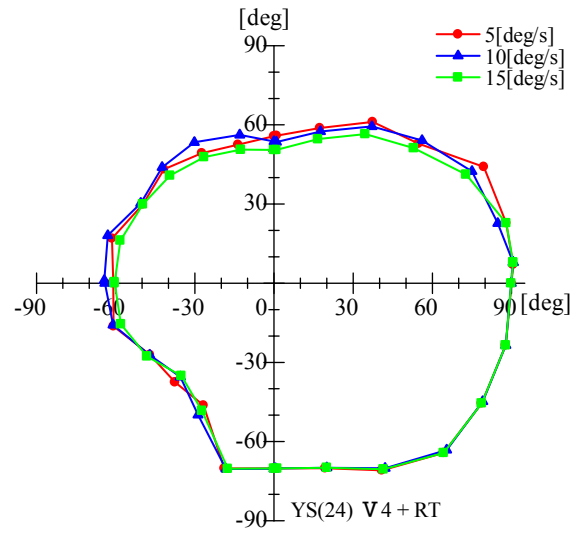


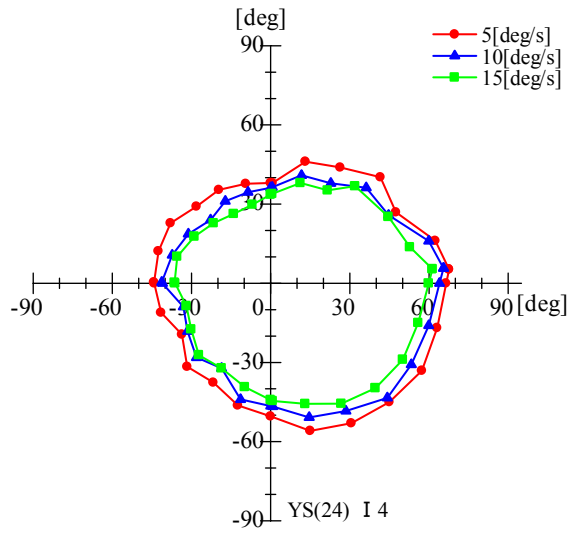
図 5.11 (c) 被験者 TM の動体視野実験結果



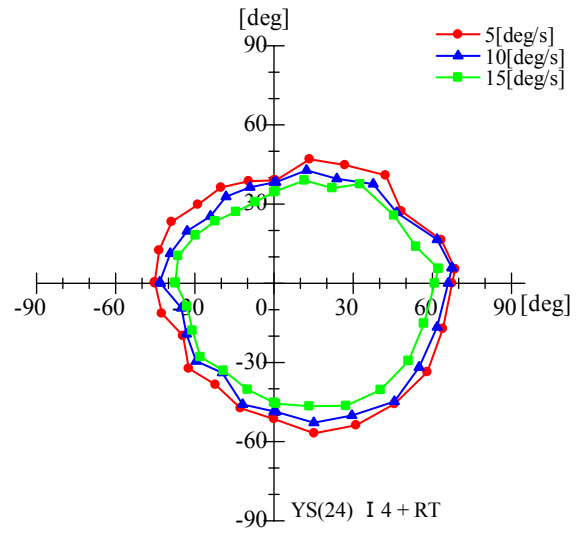
(da) V₄



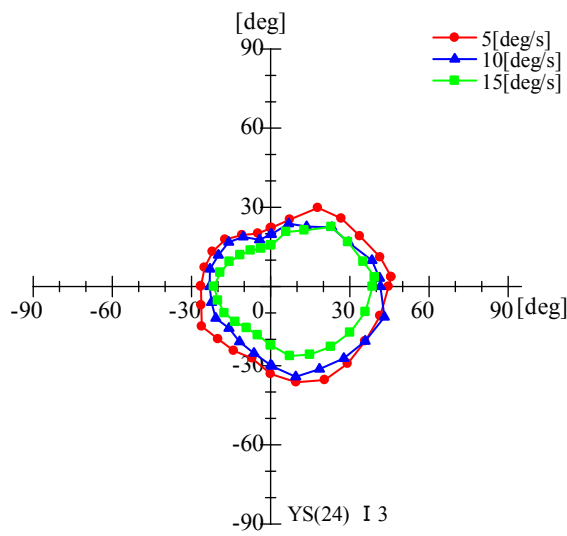
(DA) V₄+RT



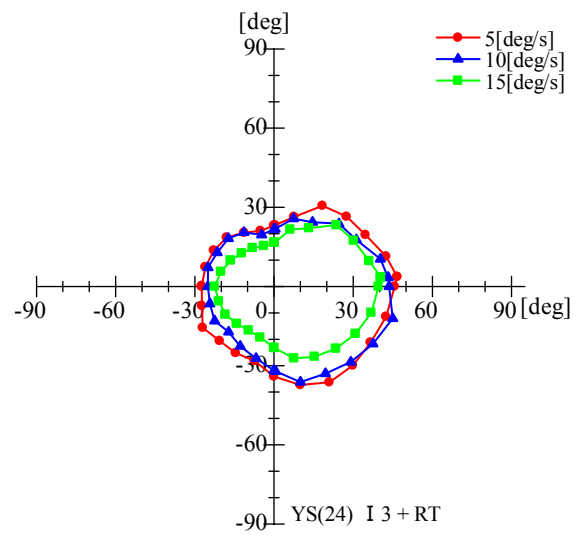
(db) I₄



(DB) I₄+RT



(dc) I₃



(DC) I₃+RT

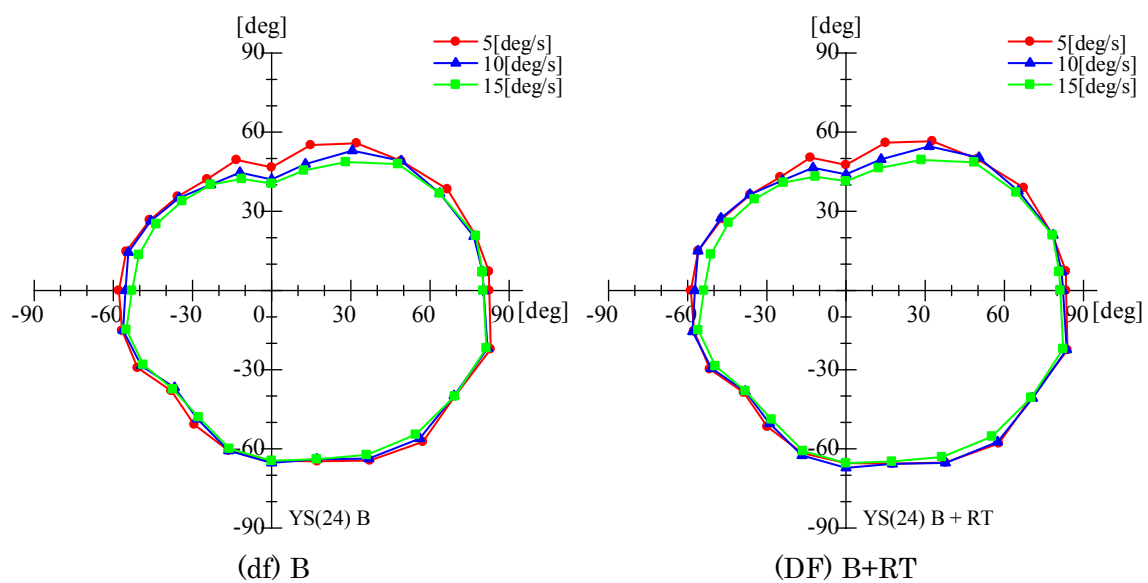
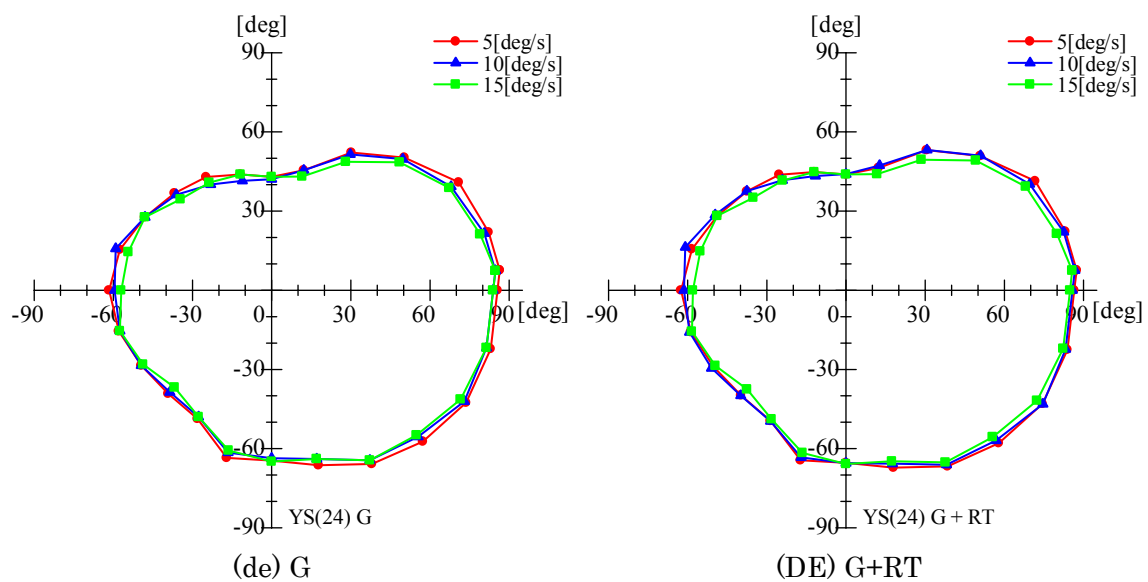
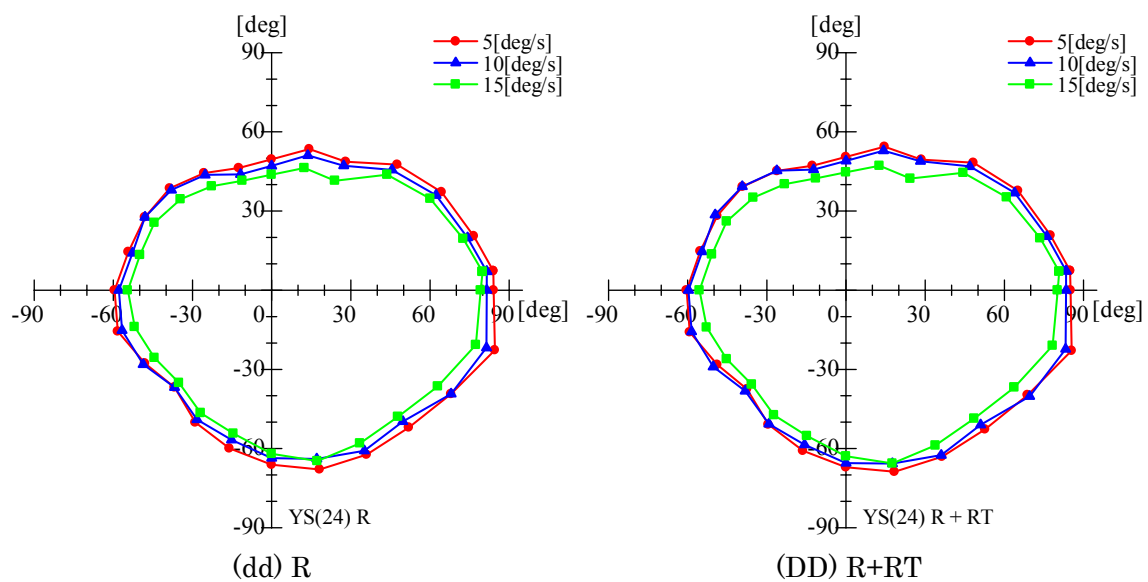
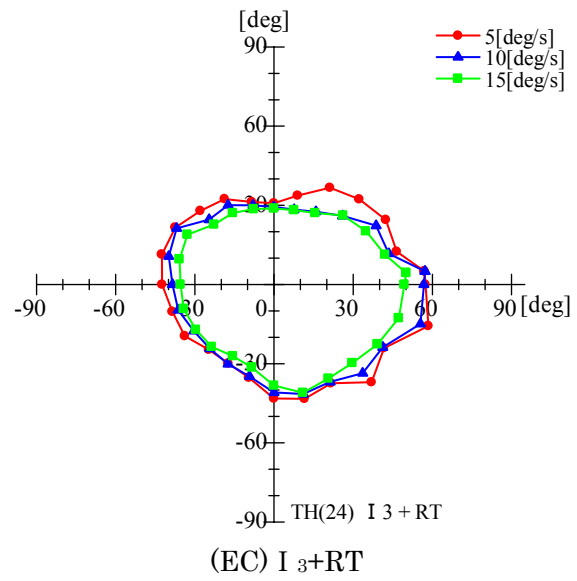
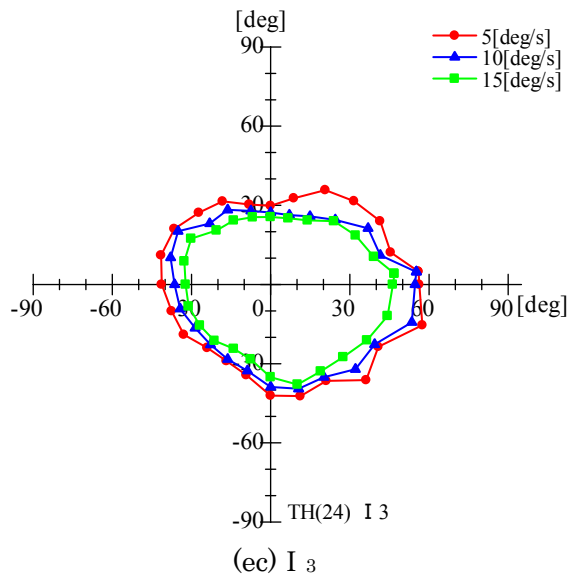
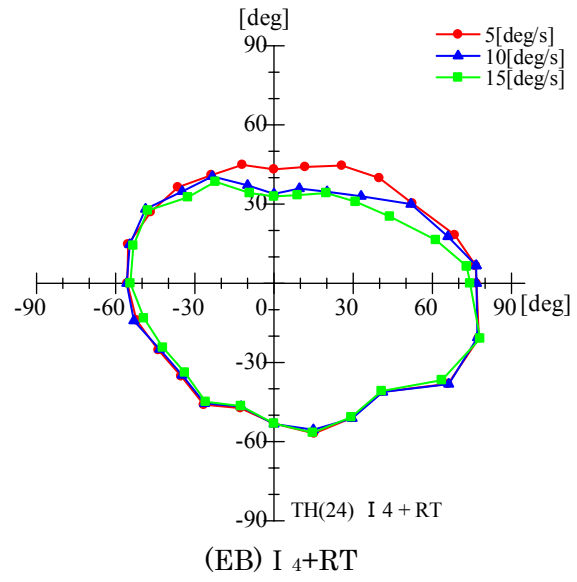
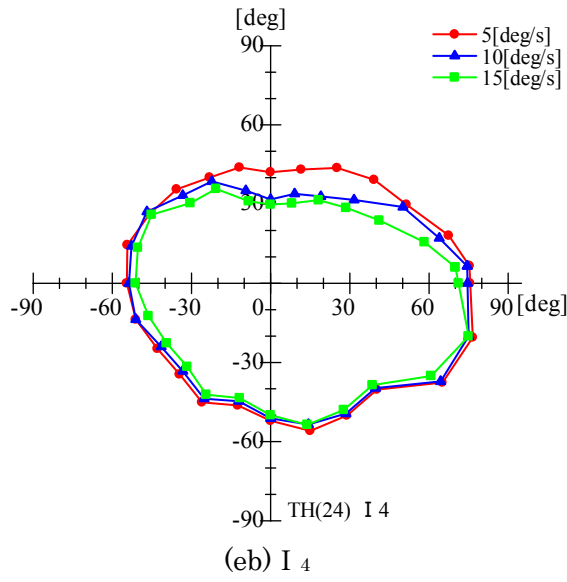
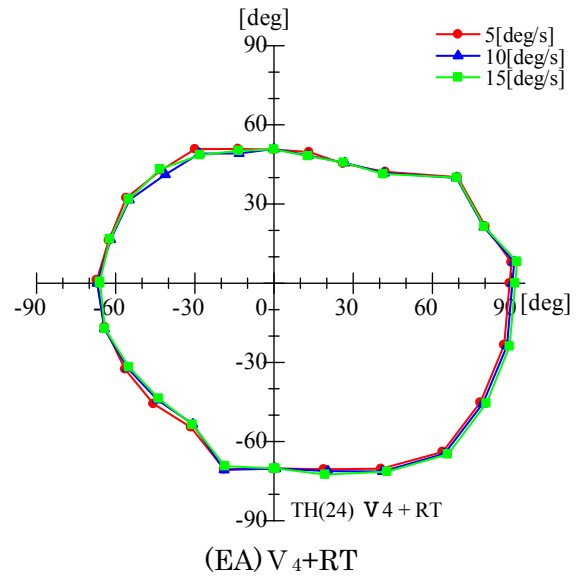
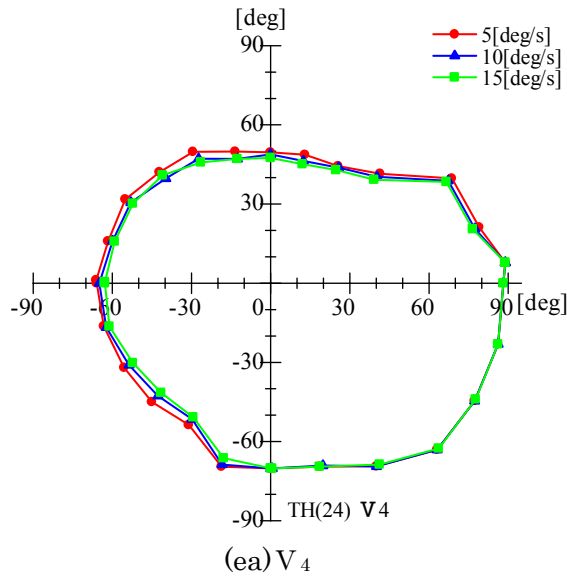


図 5.11 (d) 被験者 YS の動体視野実験結果



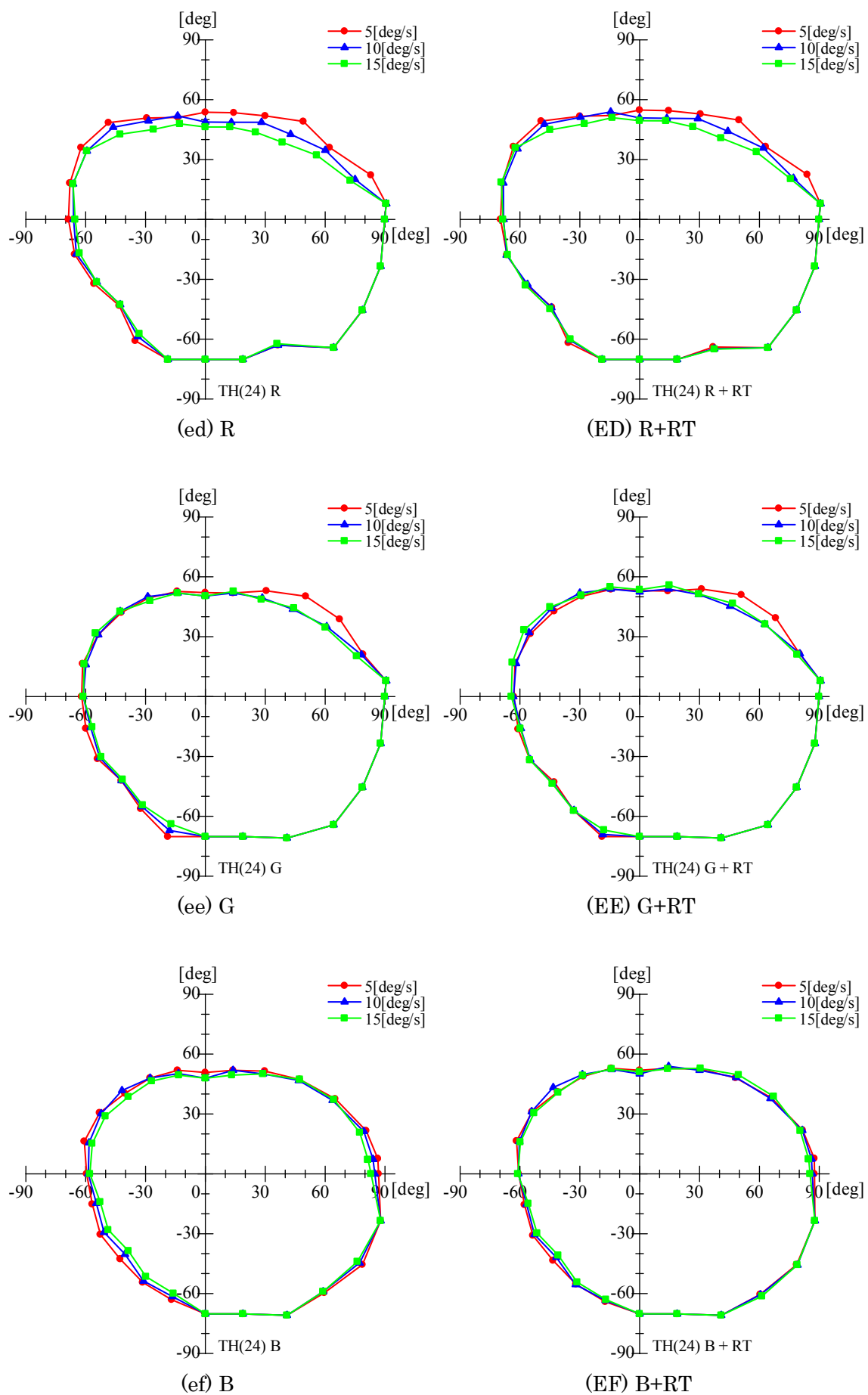
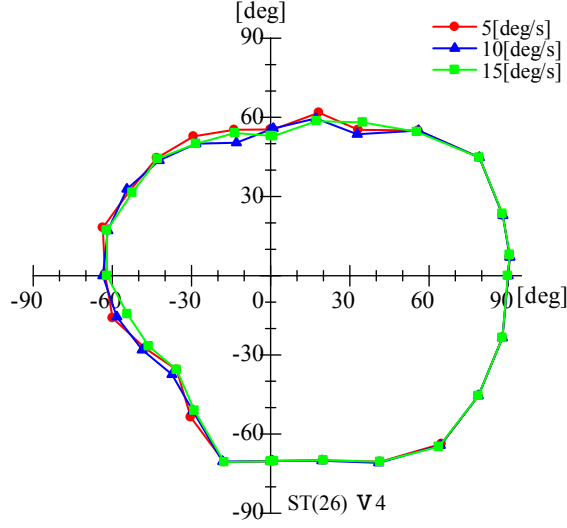
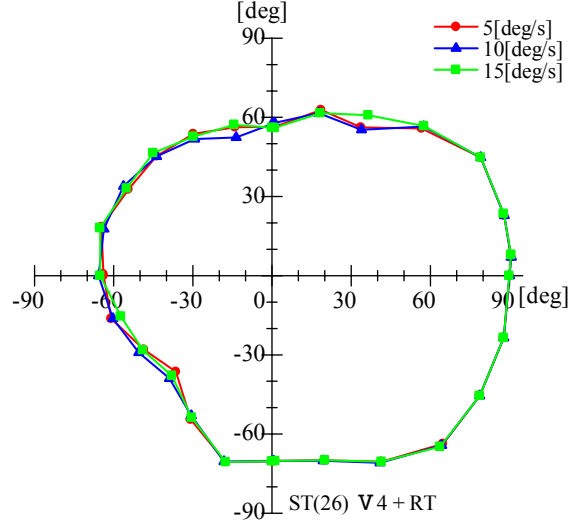


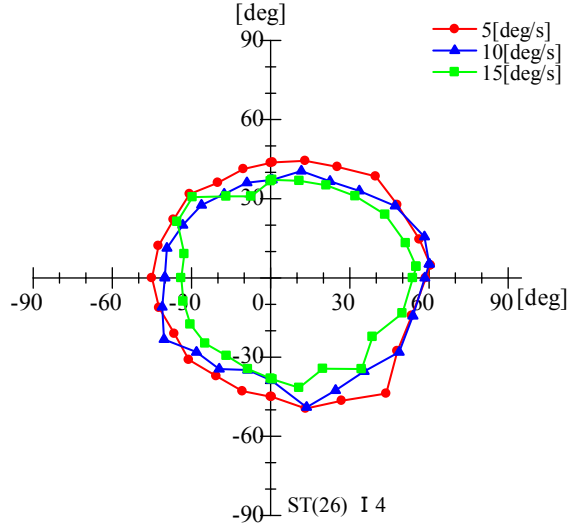
図 5.11 (e) 被験者 TH の動体視野実験結果



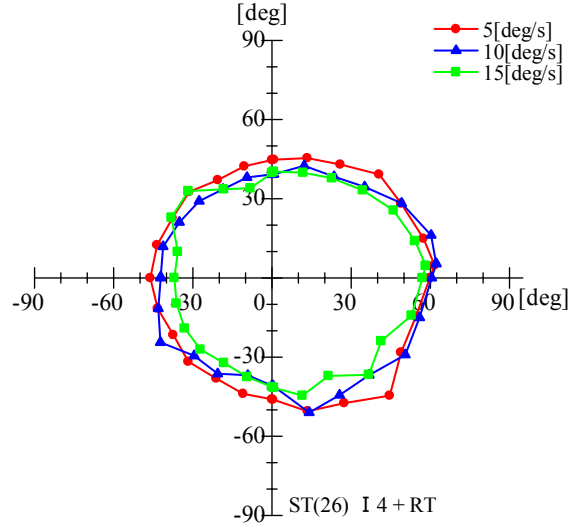
(fa) V₄



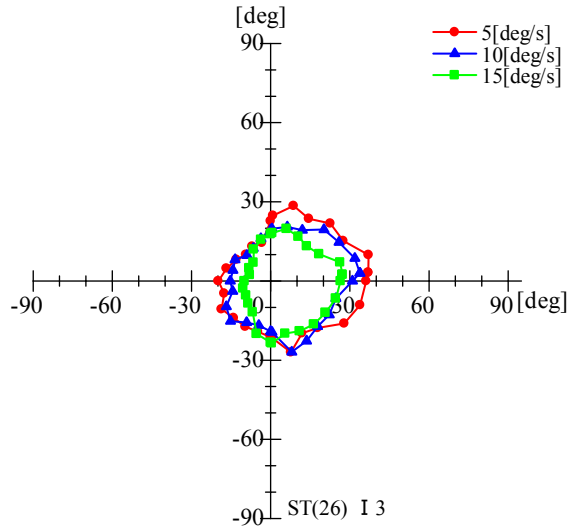
(FA) V_{4+RT}



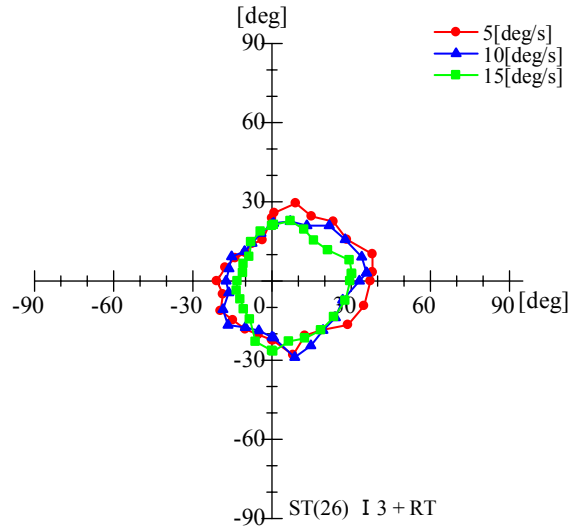
(fb) I₄



(FB) I_{4+RT}



(fc) I₃



(FC) I_{3+RT}

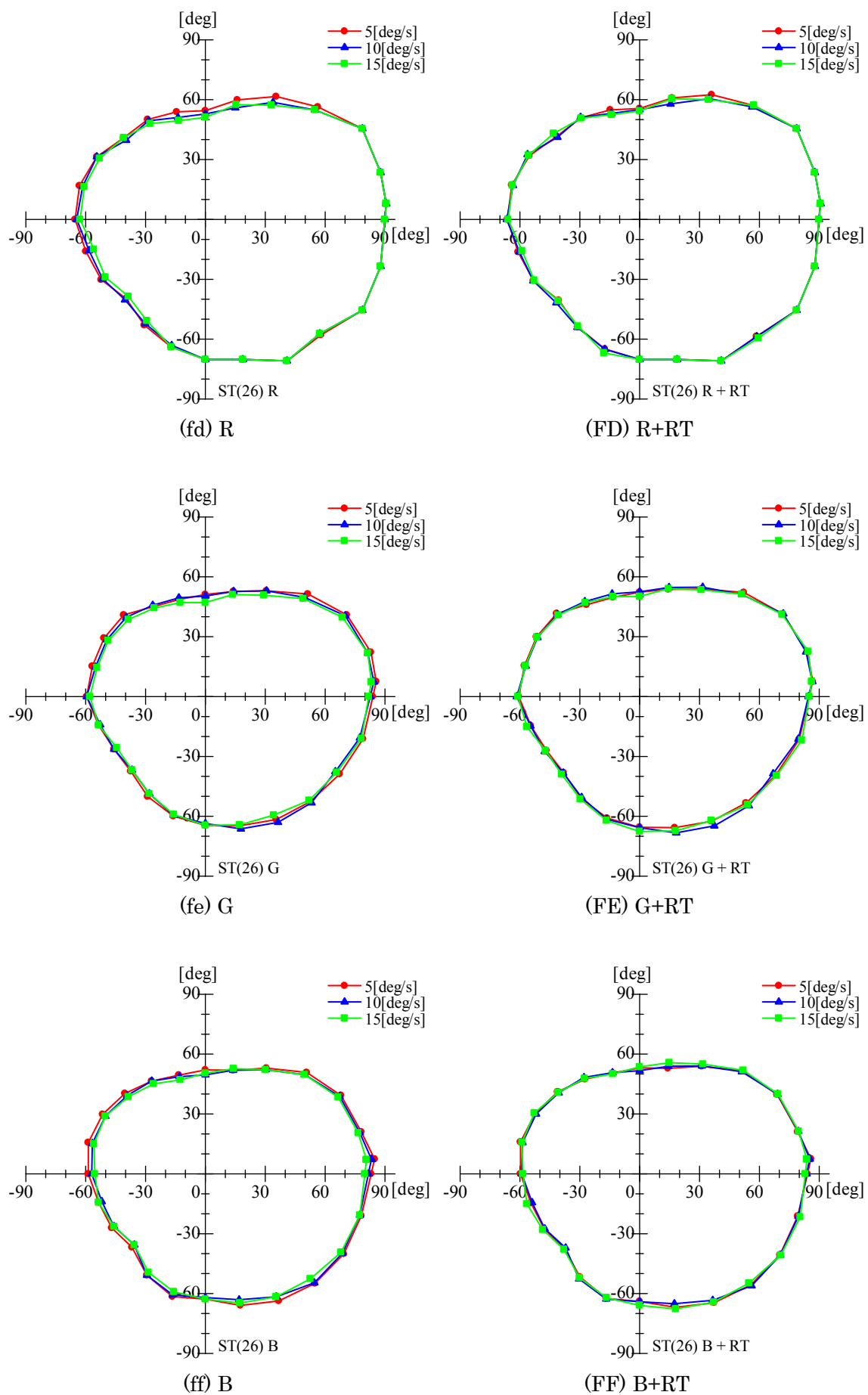
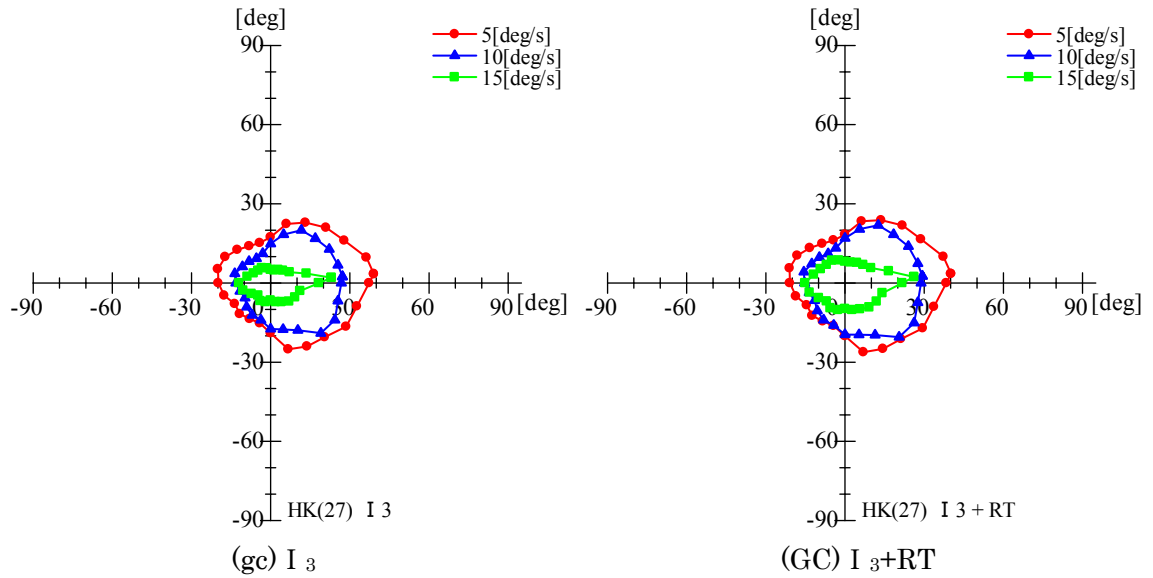
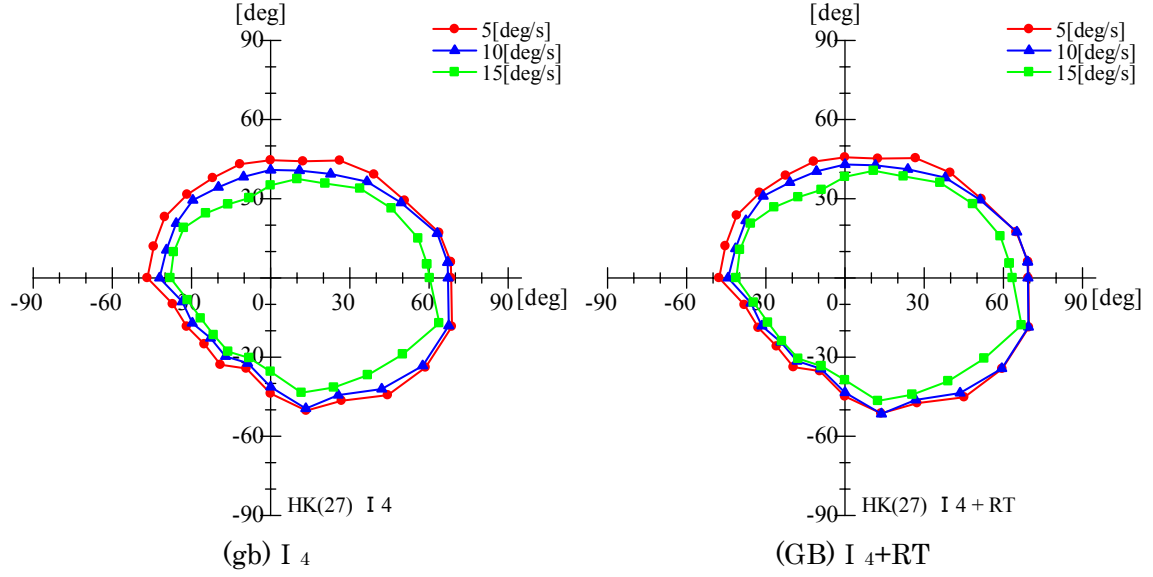
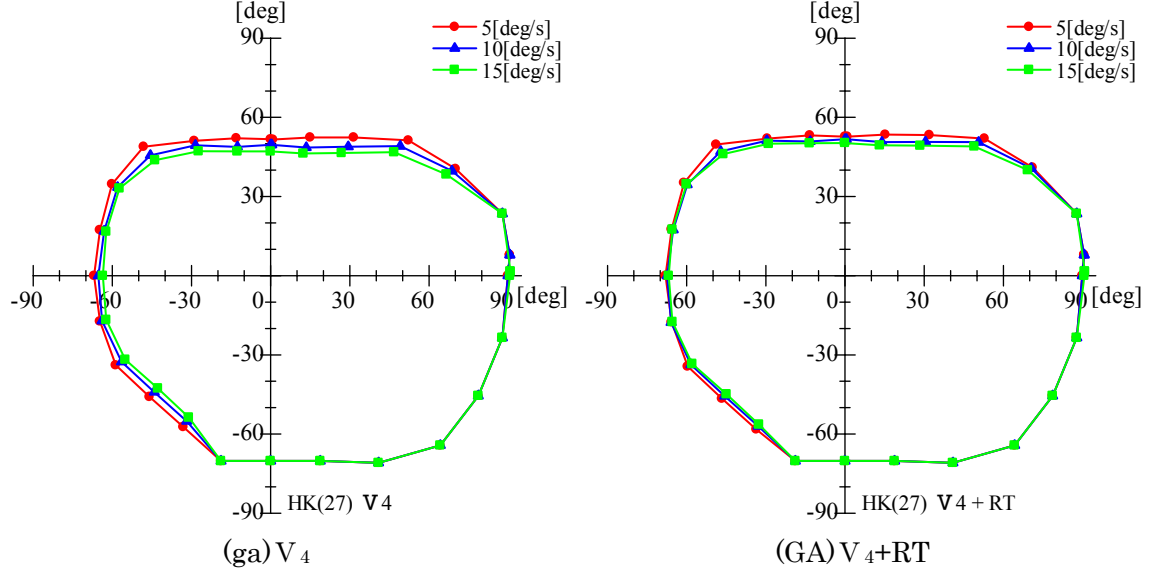


図 5.11 (f) 被験者 ST の動体視野実験結果



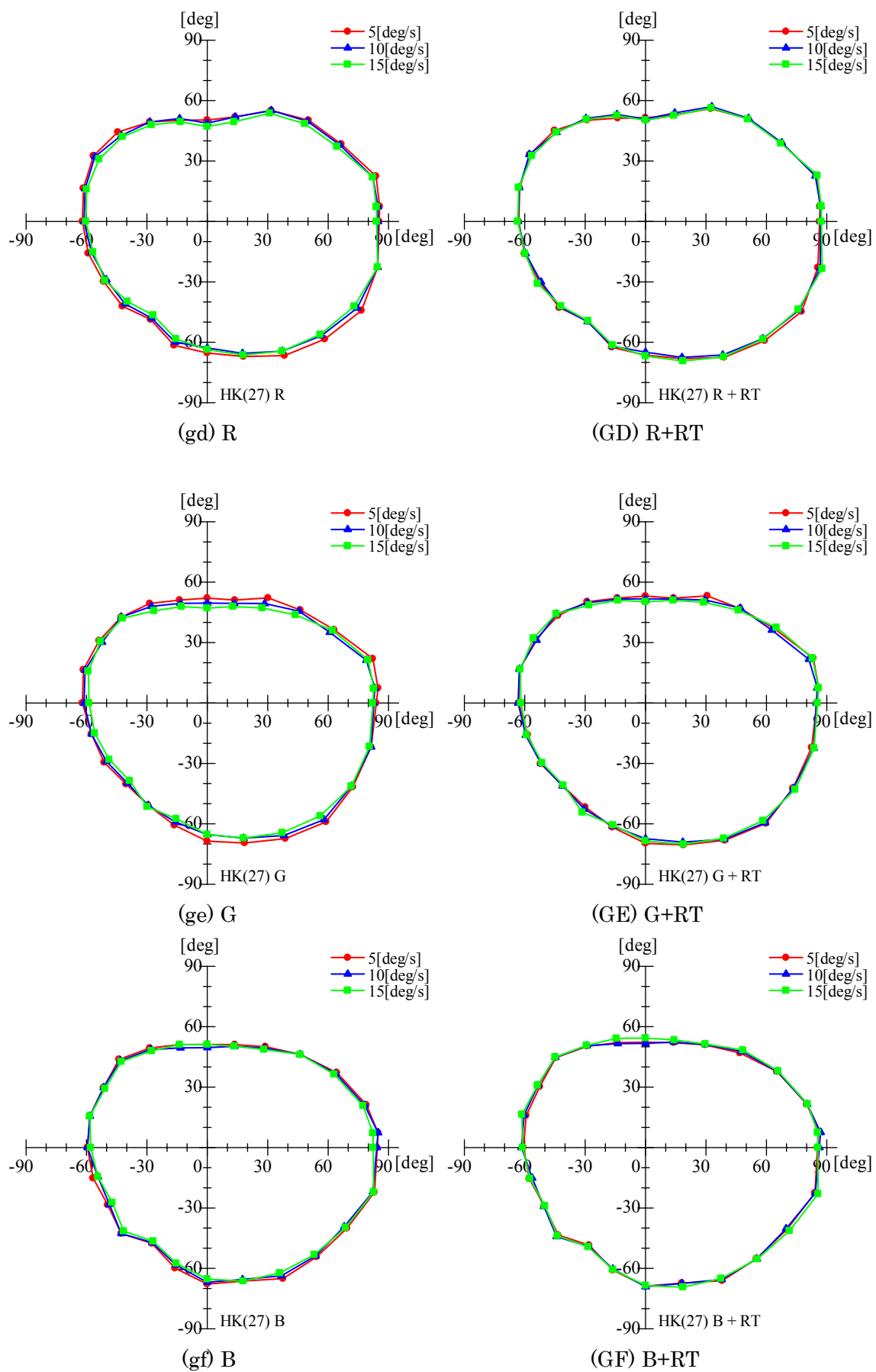


図 5.11 (g) 被験者 HK の動体視野実験結果

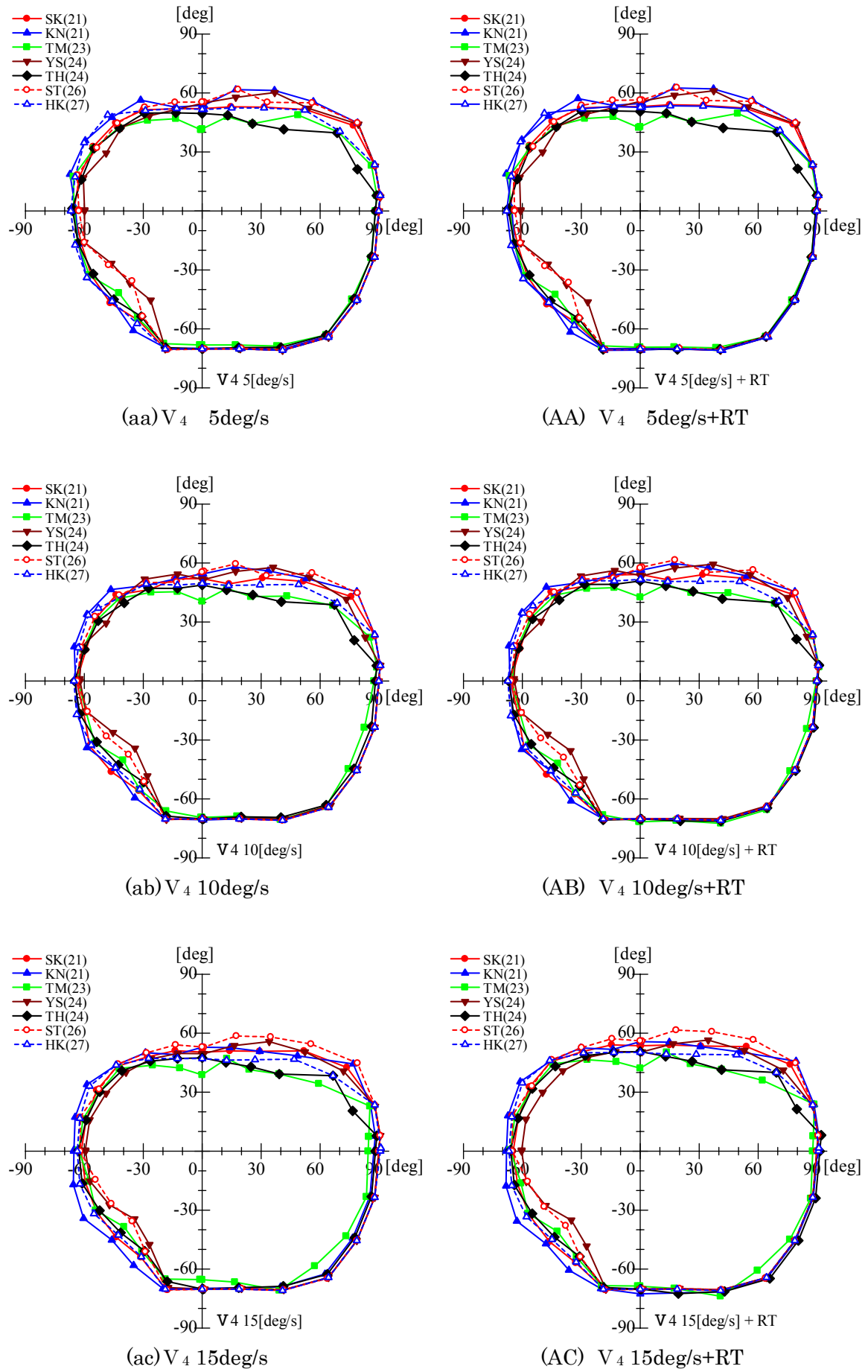


図 5.12 (a) 視標条件 V_4 の動体視野測定結果

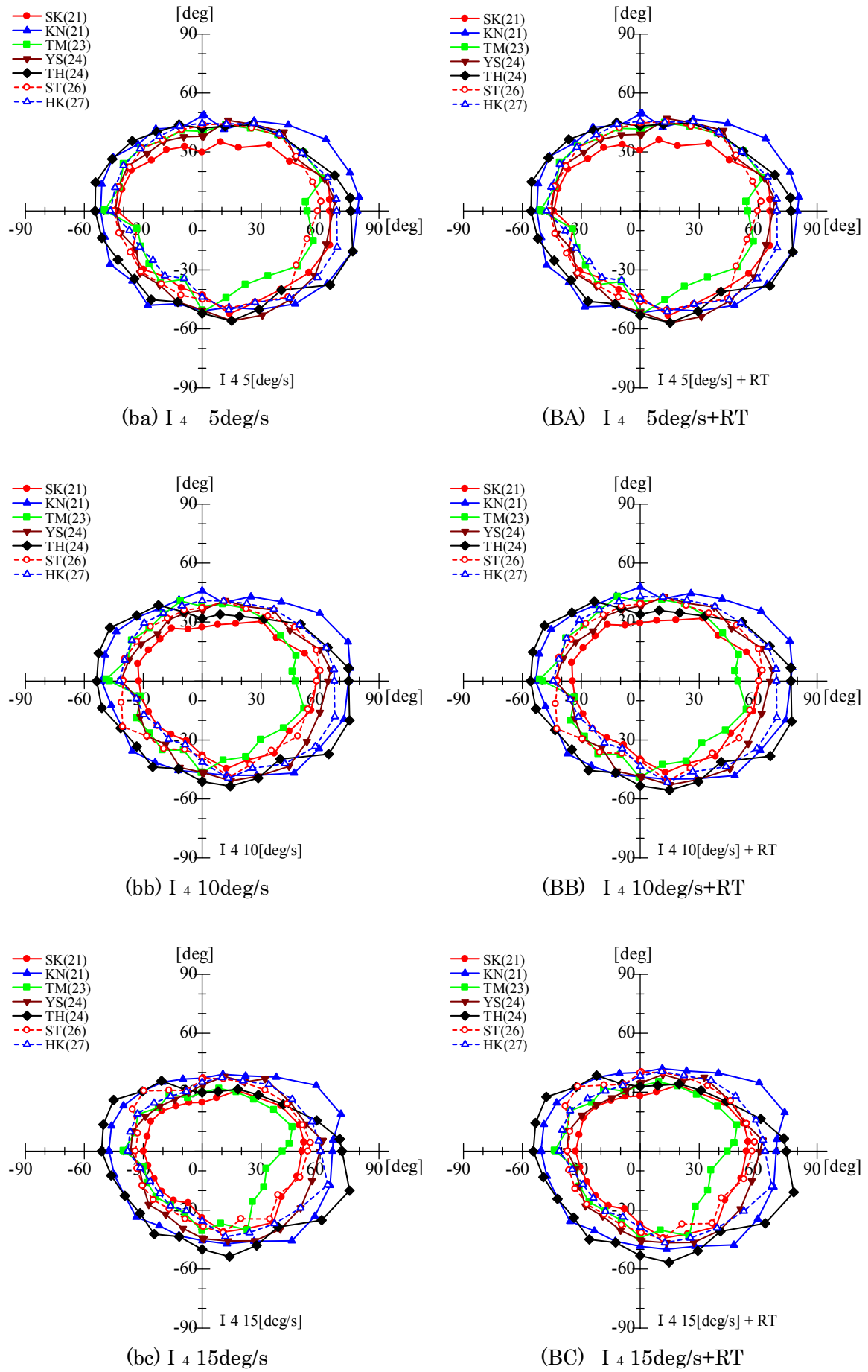


図 5.12 (b) 視標条件 I_4 の動体視野測定結果

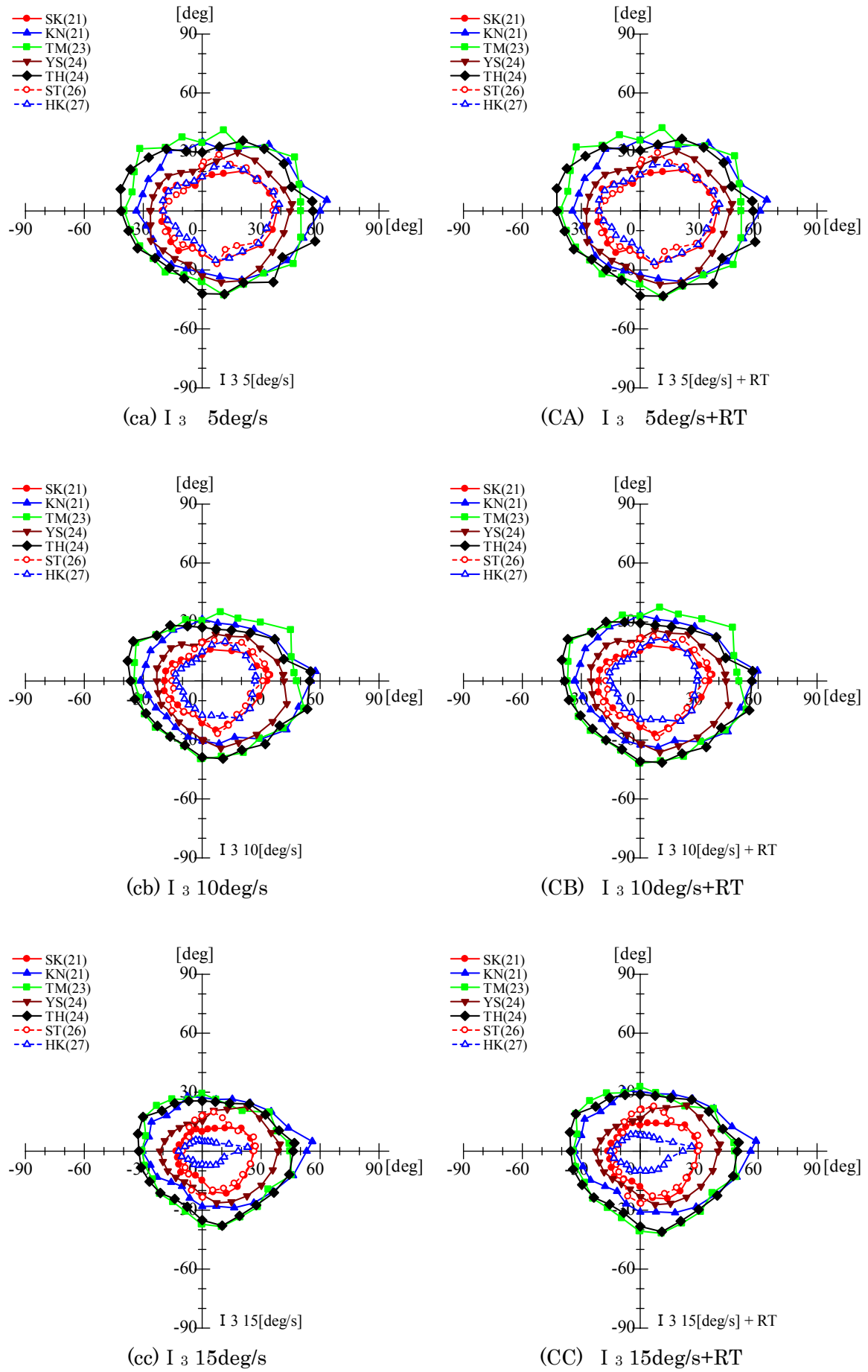
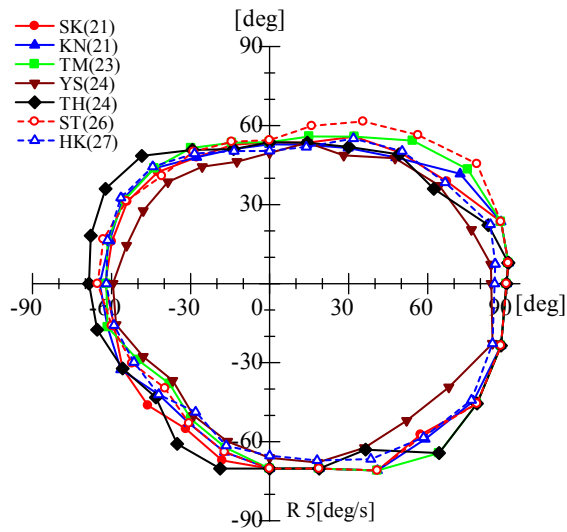
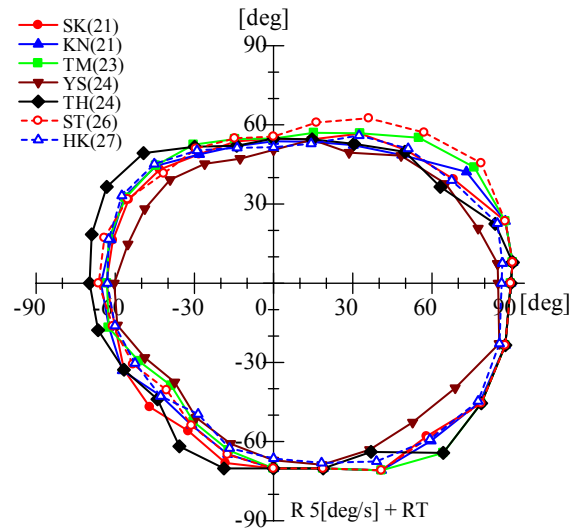


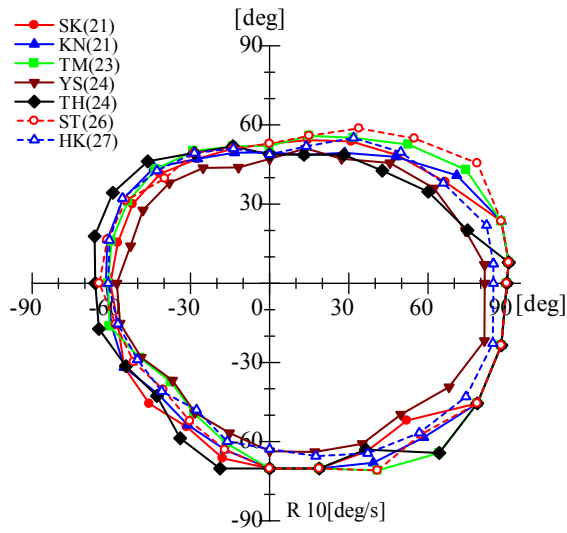
図 5.12 (c) 視標条件 I_3 の動体視野測定結果



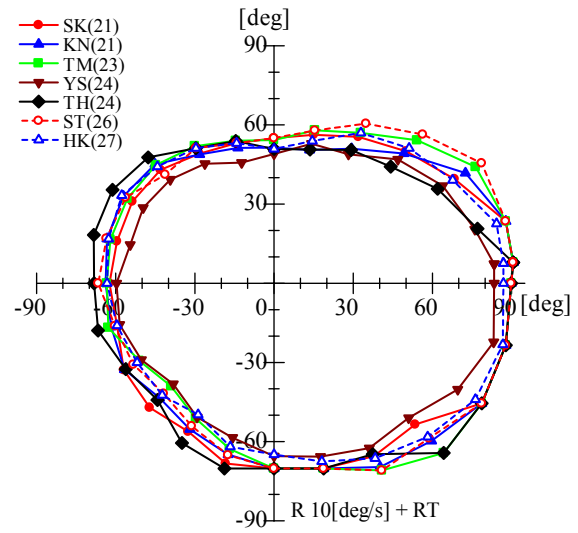
(da) R 5deg/s



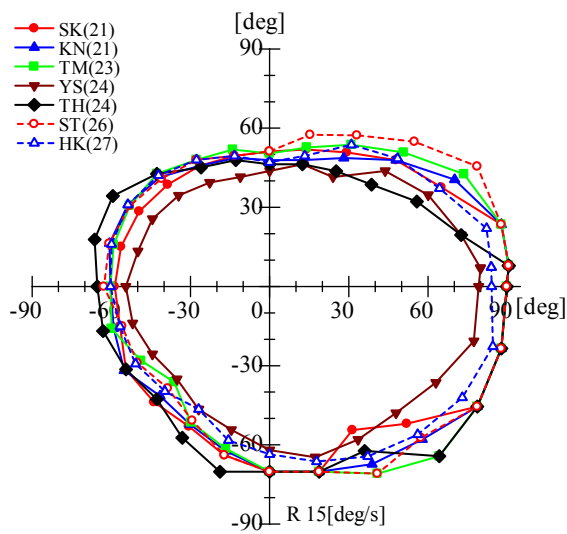
(DA) R 5deg/s+RT



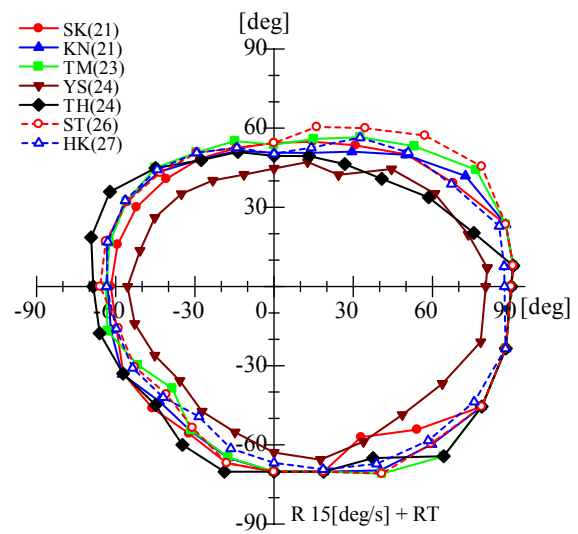
(db) R 10deg/s



(DB) R 10deg/s+RT



(dc) R 15deg/s



(DC) R 15deg/s+RT

図 5. 12 (d) 視標条件 R の動体視野測定結果

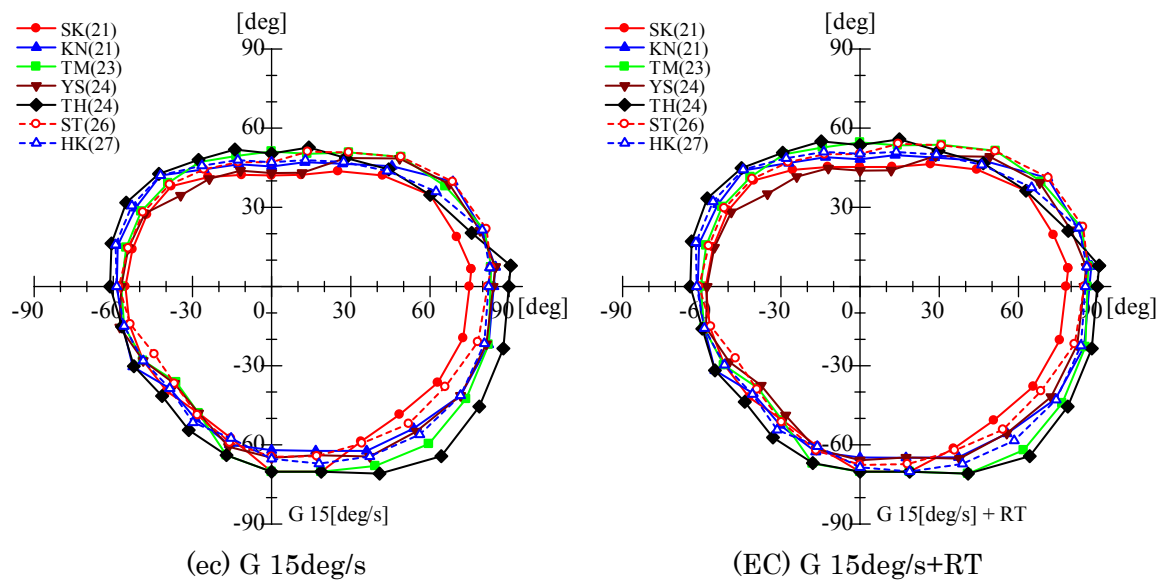
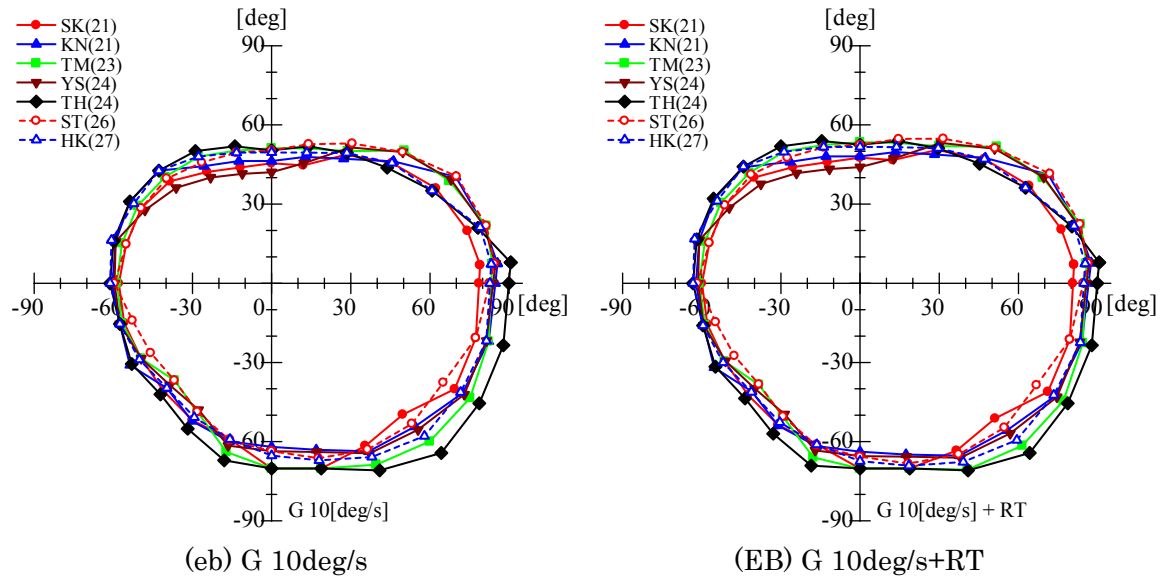
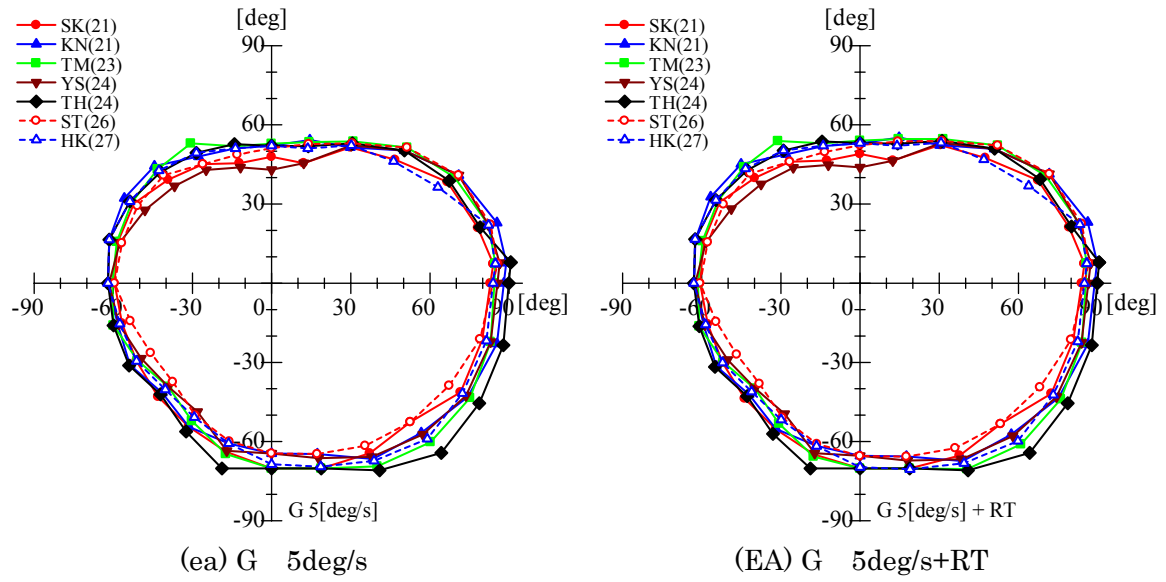


図 5.12 (e) 視標条件 G の動体視野測定結果

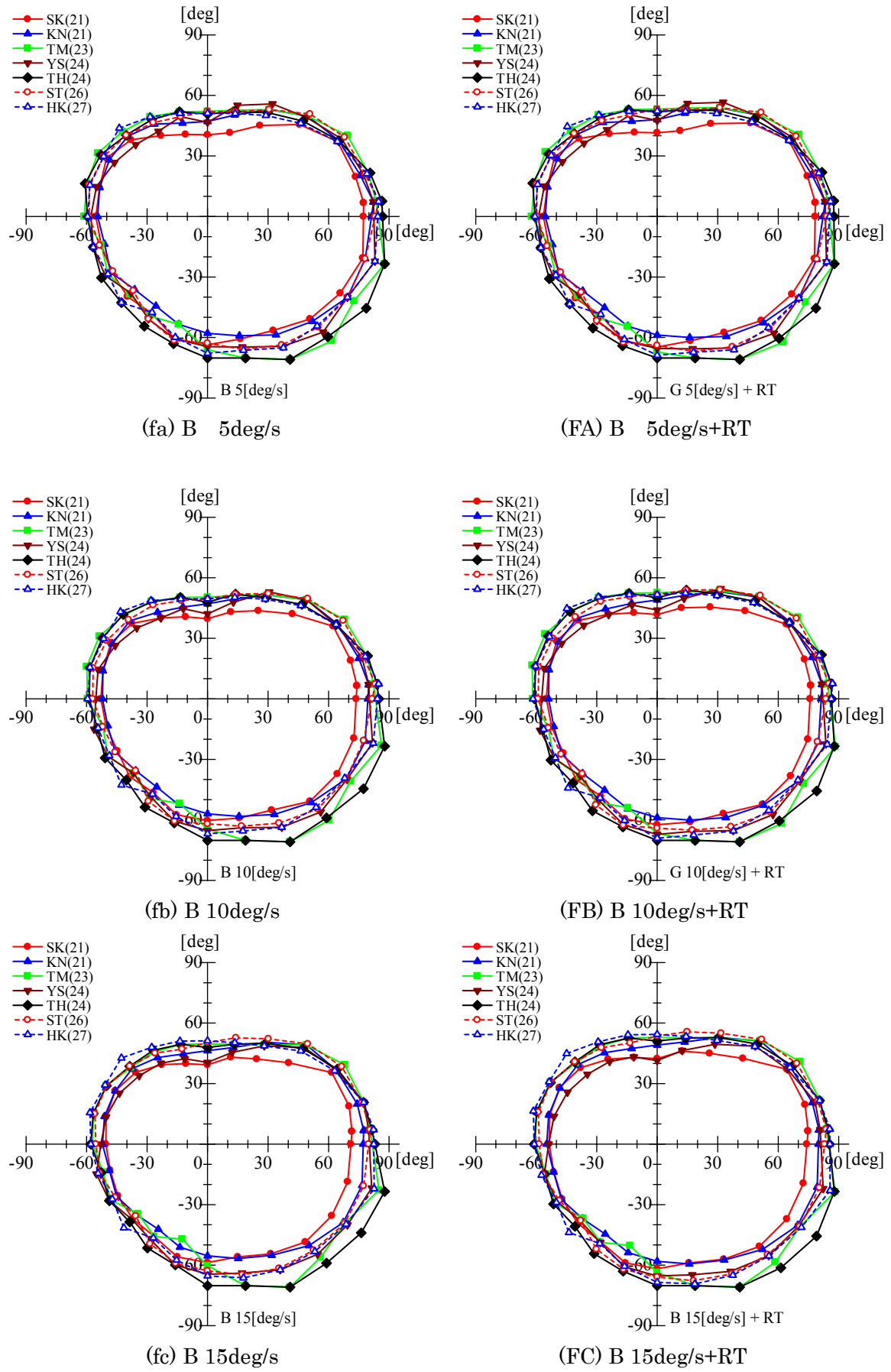


図 5.12(f) 視標条件 B の動体視野測定結果

5. 3. 2 高齢者の動的視野面積

以降に高齢者の動的視野測定結果を記す．高齢者の動的視野面積の測定では，視標条件は V_4 に限定しており，視標移動速度条件は若年者と同じである．

高齢者実験で測定した 20 名のうち，RT 測定に問題のあった 3 名を除く 17 名の動的視野を計測した．しかしながら，実験用ソフトウェアが最適化されずに計測時間が長くなり高齢者の体力を考慮して各条件に 1 回の測定結果しか得られなかった．今後，実験条件を改善して測定回数を増やす予定である．

6. 動体視野研究の改善点

6. 1 実験装置・方法の改善

本研究の視標条件において、視標サイズ及び視標移動速度は問題なかったが、視標輝度に問題があった。白色の視標条件V₄に対し、同じ視標サイズである R,G,B の 3 視標条件ではそれぞれ赤色、緑色、青色の視標である。もし、この 4 色全てが同じ輝度で測定できた場合、視標色による影響が検討できたのだが、視野計装置の機構上、非常に困難であることがわかった。

問題となったのは視標に色彩を追加するためのカラーキャップである。このカラーキャップを装置に付けると視標輝度が減少するため、4 色の視標輝度を一定に保つことが出来なかった。

今後の課題としては、この白、赤、緑、青の 4 色の視標輝度を常に一定に調整できる器具・手段を考案・製作することである。この問題が解決すれば、より広い視標条件で動的視野面積の分析が可能となる。

6. 2 被験者の視能力の比較

今回の研究では、動的視野測定他に静止視力測定も行っている。しかし、静止視力は被験者の視能力の目安として扱っているだけであった。今後は動体視力など他の視能力とも比較してみることも重要であると考えている。

ただし、動的視野測定も動体視力測定も測定に時間がかかるため、被験者として、長時間の実験・測定に耐えられない高齢者に協力してもらうことが出来ない。よって、この問題点を解決するためには、動的視野測定及び動体視力測定を短時間に行えるようにしなければならない。

6. 3 被験者人数と測定回数の増加

今回の研究において、被験者の人数と高齢者の各条件における測定回数が少なく、動的視野特性の定量検討はまだ完全にできない状況にある。今後、十分な測定回数と被験者人数を確保して動的視野の加齢効果について詳細に検討する予定である。

7. 視覚認知神経科学の基礎と従来研究

図 7.1 に示されているように、物体の左視野の情報は左眼球と右眼球の網膜の右側に投影され、視神経を経由して視交差を行い脳内の右半球の第 1 次視覚野に再現される。一方、物体の右視野の情報は左眼球と右眼球の網膜の左側に投影され、視神経を経由して視交差してから脳内の左半球の第 1 次視覚野に再現される。

視野情報の伝達経路と脳内再現

- 網膜から第一次視覚野への経路
 - 空間情報が規則的に伝達

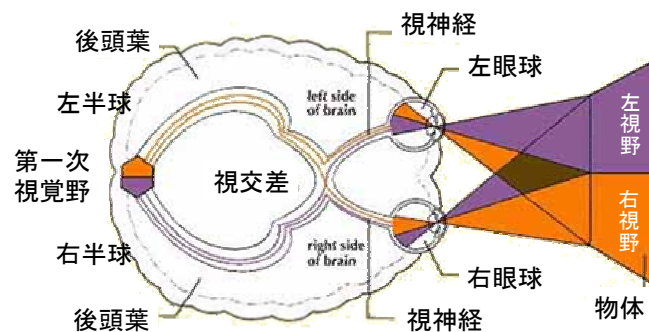


図 7.1 網膜から第 1 次視覚野への経路

脳内視覚野での網膜部位再現の詳細は、図 7.2 を用いて説明する。図 7.2 の左側に網膜座標系を、右側に脳内再現部位を示す。図に示されているように、網膜の左視野に写った情報は右後頭葉（第 1 次視覚野）に再現される。一方、網膜の右視野に写った情報は左後頭葉（第 1 次視覚野）に再現される。さらに、網膜中心の情報は視覚野の後部に、網膜周辺の情報は視覚野の前方に再現される。

第一次視覚野の網膜部位再現

- 網膜上の領域は第一次視覚野の領域に対応
 - 網膜部位再現(レチノトピ)

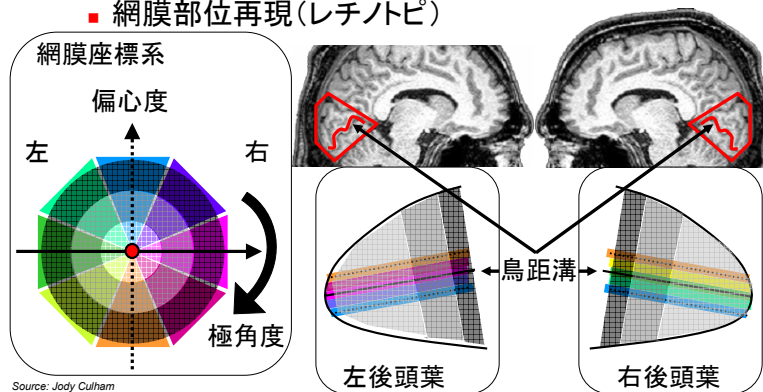


図 7.2 視覚野での網膜部位の再現

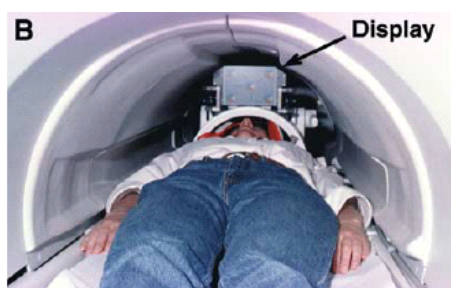
脳内視覚野での網膜部位再現に関する研究は 1996 年から海外を中心として検討が行われている。図 7.3 に示されているように、実験装置、実験手法、解析手段の制限により視野角 60 度（偏心度 30 度）までの検討は行われた。しかし、視野角 60 度以上の脳部位の同定が実現できなかったのは現状である。

先行研究: ヒト周辺視野の脳内表象

■ 視野角60度(偏心度30度)程度

■ 実験装置の制限

Resercher	Year	Eccentricity
Deyoe	1996	30deg
Dougherty	1997	12deg
Baseler	1999	13deg
Snith	2001	15deg
Brewer	2002	15deg
Slotnick	2003	15deg
Scott	2003	5deg



プロジェクタ&ミラーによる呈示装置

図 7.3 視覚野の脳部位の同定に関する従来研究

8. 機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 実験装置

視野角 60 度以上の脳部位の同定を実現するため、図 7.4 に示した設計・製作方針に基づいて、視野角 120deg (偏心度 60deg) を有する視覚刺激呈示装置を製作した。この装置は高磁場下でも使用できるなどの要請条件を満たしている。

刺激呈示装置: 方針

- 実験装置への要請
 - 高磁場環境中で利用可能
 - 視野角120deg (偏心度60deg)を確保
 - 視覚パラメータ(波長・コントラストetc)を変化可能
- 製作した実験装置
 - 長さ6m×直径0.5mmの光ファイバ8700本により直径5.2cmの視覚刺激呈示ディスプレイを構築
 - コンタクト・レンズの併用により広視角を確保
 - 光入射装置にプロジェクタを利用することで、自由度の高い刺激呈示が可能

図 7.4 広視野刺激呈示装置の設計・製作方針

広視野刺激呈示装置のシステムを図 7.5 に示す。パソコン (PC) によって生成された視覚刺激はプロジェクターを介して、固定台に固定されている光ファイバ束の入射部の断面に入射する。入射された視覚刺激は光ファイバ束によって呈示部の先端部に伝送され、被験者はコンタクト・レンズを装着して呈示部の刺激を見る。視覚刺激呈示装置の入射部と呈示部の詳細をそれぞれ図 7.6 と図 7.7 に示す。

刺激呈示装置: システム構成

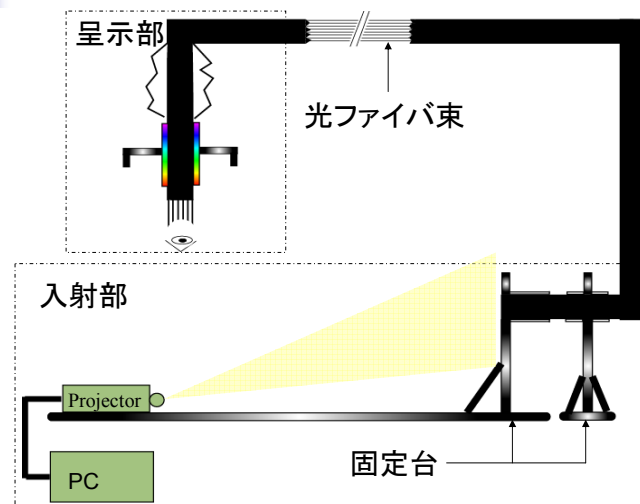


図 7.5 広視野刺激呈示装置のシステム構成図

刺激呈示装置:入射部

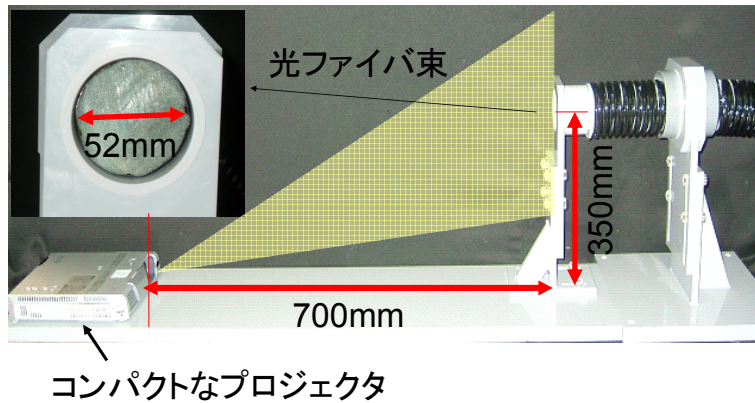


図 7.6 広視野刺激呈示装置の入射部

刺激呈示装置:呈示部

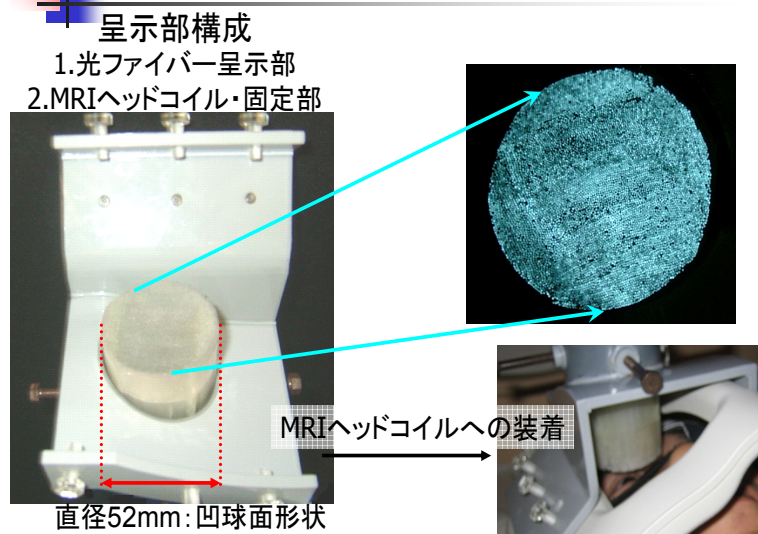


図 7.7 広視野刺激呈示装置の呈示部

9. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）実験方法

機能的磁気共鳴画像法（fMRI）実験によるヒト周辺視野の脳内表象を定量的に計測するため，図 7.8 の実験方法を用いた．被験者は香川大学工学部の学生であり，すべての実験は香川大学医学部倫理委員会の承認の下で実施された．MRI 装置として高松市おさか脳外科病院の 1.5T MRI System を使用した．撮像パラメータは図 7.8 に示されている．



図 7.8 fMRI 実験方法

10. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）実験結果

機能的磁気共鳴画像法（fMRI）実験より得られたデータを解析するため、BrainVoyager QX1.7 というソフトウェアを使用した。このソフトウェアを用いた、fMRI 実験データの基本処理の考え方を図 7.9 に示す。

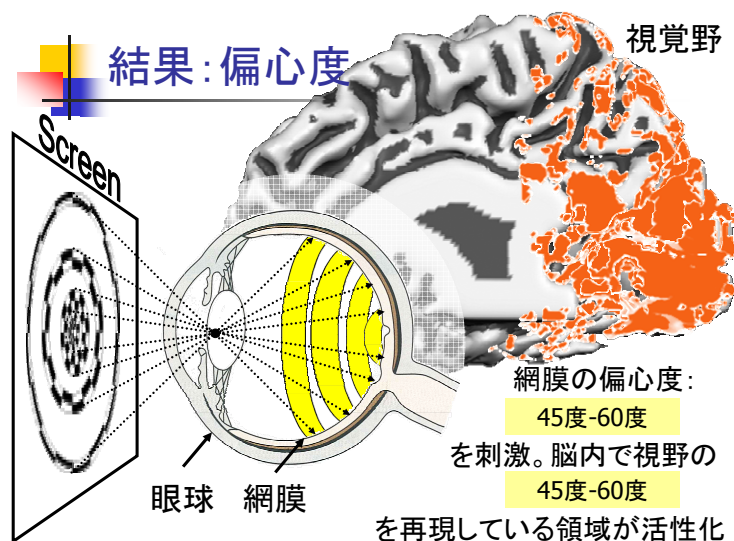


図 7.9 fMRI 実験データの基本処理方法の考え方

機能的磁気共鳴画像法（fMRI）実験データの基本処理を行い、その一例を図 7.10 に示す。図の赤色の部分は中心視野に、青色は周辺視野に対応している。図 7.10 に示されているように、定性的に fMRI 実験結果を説明することができる。すなわち、網膜の中心視野に刺激が呈示されるとき脳内視覚野の後部が活動し、その活動面積は広い。一方、網膜の周辺視野に刺激が呈示されるとき、脳内視覚野の前部が活動し、その活動面積は狭い。この特徴は図 7.11 から分かる。

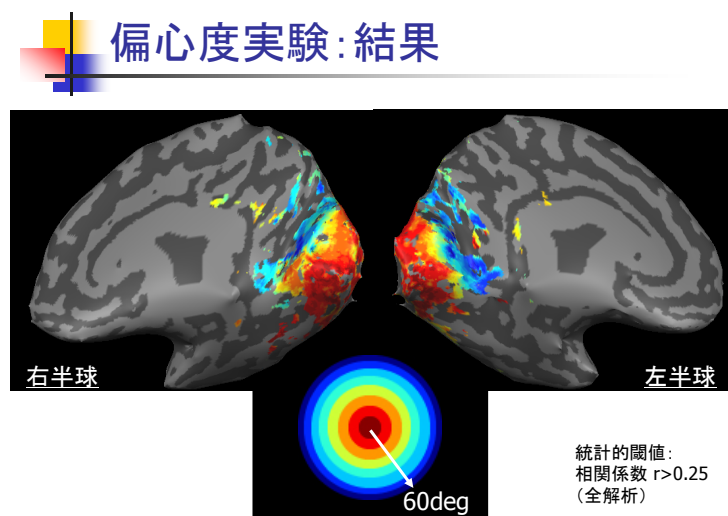


図 7.10 fMRI 実験データの基本処理の説明例

偏心度実験: 結果(代表4名)

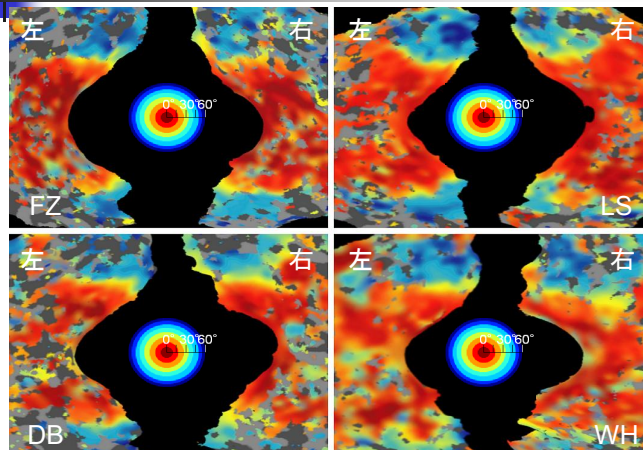


図 7.11 fMRI 実験データの基本処理の代表 4 名の結果

機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) 実験データの基本処理を行って、図 7.10 と図 7.11 の定性的な結果が得られたが、中心視野と周辺視野の脳内活動部位を定量的に検討するためには、fMRI 実験データの更なる解析が要求される。その解析方法の一案として、皮質拡大率が挙げられる。皮質拡大率の計算方法の概念を図 7.12 に示す。しかしながら、現時点この解析方法の具体的な計算アルゴリズムについてはまだ十分に理解できていない。今後、fMRI 実験データ解析方法を勉強し定量的解析を行う予定である。

皮質拡大率 (Cortical Magnification factor)

■ 定義:

- 単位立体角の視野に対応する皮質の面積
- 視野のある領域における情報処理を担当する脳領域の大きさを定量的に評価

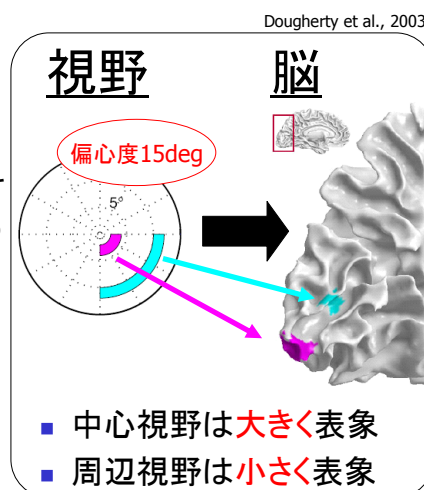


図 7.12 fMRI 実験データの解析方法の概念説明

11. 機能的磁気共鳴画像（fMRI）研究の改善点

11. 1 実験装置の改善

広視野刺激呈示装置の画像伝達部は、8000 本前後の光ファイバを円柱状の束にして製作した。光ファイバの入射部と呈示部の断面は手作りで、光ファイバを 1 本ずつ断面をそろえて作ったものであり、その精度についてはまだ改善する余地がある。

11. 2 実験方法の検討

いままで、実験装置、実験手法、解析手段の制限により、視野角 60 度（偏心度 30 度）までしか検討されていなかった。本研究は、従来研究に対して倍の視野角（120 度）の脳部位の同定にチャレンジしている。これを実現することが容易ではないことはこの数年間の苦勞を通じて実感している。上記の実験装置の制限以外に、fMRI 実験設計方針の再検討、fMRI 実験方法の改良などのことは必要である。

11. 3 解析方法の学習

機能的磁気共鳴画像法（fMRI）実験データの基本処理を行い定性的な結果が得られたが、定量的な解析方法についてまだ分かっていないのは現状である。今後、fMRI 実験データ解析方法を勉強し、fMRI 実験データを定量的に解析する必要がある。

12. 今後の予定

以上の成果をもとに、今後は以下の研究を進める予定である。

(1)関連国際研究グループの研究状況を調査し、fMRI 実験による中心・周辺視野の機能的差異を検証する。広視野刺激呈示装置を改良して中心と周辺視野の時間周波数応答などの視覚パラメータの依存性を計測する。

(2)広視野特性の認知心理学実験を実施するため、計測装置の光源部分を改造し、動体視野の色・明るさ依存性を定量的に計測する。さらに、その加齢効果も検証する。

(3)広視野特性と交通安全についての調査検討を行う。ドライバーの周辺視野特性と交通事故について調査研究し、得られた基礎研究成果の交通安全への適用を検討する。

謝 辞

動的視野計測装置の改造、実験実施とデータ整理を担当した香川大学工学部宮本脩平氏、fMRI 実験の視覚刺激呈示装置の製作と実験実施を担当した香川大学工学部金鳳哲氏に深く感謝いたします。

MRI 実験装置を提供してくれた高松市おさか脳外科病院（苧坂邦彦院長）と機器操作指導を賜った放射線科本城尚美部長、佐竹徳彦技師長および技師の方々に心より感謝いたします。

fMRI 実験設計、実験方法およびデータ解析にご討議とご教示を賜った米国国立衛生研究所 (National Institutes of Health) Dr. Mark Hallett, Dr. Peter Lin and Dr. Ou Bai, 米国 Banner Alzheimer Institute (BAI) Dr. Kewei Chen に厚く御礼を申し上げます。

動的視野計測の認知心理学実験と fMRI 実験の被験者としてご協力を頂いた香川県特別養護老人ホームさくら荘の方々、被験者とデータ整理・解析のご協力を受けた香川大学工学部呉研究室の皆様に感謝いたします。

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B)17360117,基盤研究(B)18300053）、かがわ産業支援財団産学官共同研究開発事業、香川大学プロジェクト研究等の助成を得て行われたことを記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 橋本茂樹：自動視野計を用いた動的視野測定プログラム,近畿大医誌(Med Kinki Univ),28 : 207-221(2003)
- 2) 浜本順次,三浦考博,清水正紀：自動視野計 Peritest の使用経験,眼科臨床医報,79(2),227-229(1985)
- 3) 貫名香枝 他：自動視野計(Topcon SBP-1000)の使用経験,臨眼,39(4),543-547(1985)
- 4) 馬場裕行：正常者におけるゴールドマン視野の定量化に及ぼす諸因子の検討,日眼会誌,90(7),62-66(1986)
- 5) 松尾治亘：量的視野計測について,醫科器械學雜誌,38,397-401(1968)
- 6) 八木幸子：実践！ゴールドマン視野検査 基礎編,眼科ケア,Vol.3 no2,169-174(2001)
- 7) F.W.Fischer,Yh.Schmidt : 40 years' of the Goldmann perimeter,Klin Monatsbl Augenheilkd,193(3),237-242(1988)
- 8) 石垣尚男：視野と周辺視反応時間の関係について,愛知工業大学研究報告,18(A), 65-71(1983)
- 9) 鈴木弘隆,田辺栄嗣,臼井正彦：老人の視野と色覚,眼科MOOK,N0.29,25-35(1986)
- 10) J.F.Rouland,J.C.Hache : Normal perceptual latencies during visual field measurement, Ophthalmologica,202,48-52(1991)
- 11) A.Larmande,J.Poletti : Recording the monocular field of vision with the Goldmann perimeter.Value of the method,Arch Ophtalmol(Paris),36(5),387-383(1967)
- 12) W.H.Payne : reaction time as a function of retinal location,Vision Res,Vol.6, 729-731(1966)
- 13) Shinr.D,Schieber.F : Visual Requirements for Safety and Mobility of Older Drivers, Hum Factors,33(5),507-519(1991)
- 14) M. I. Sereno, A. M. Dale, J. B. Reppas, K. K. Kwong, J. W. Belliveau, T. J. Brady, B. R. Rosen, and R. B. Tootell, "Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging," Science, vol. 268, pp. 889-893, 1995.
- 15) E. A. DeYoe, G. J. Carman, P. Bandettini, S. Glickman, J. Wieser, R. Cox, D. Miller, and J. Neitz, "Mapping striate and extrastriate visual areas in human cerebral cortex," Proc Natl Acad Sci U S A, vol. 93, pp. 2382-2386, 1996.
- 16) R. F. Dougherty, V. M. Koch, A. A. Brewer, B. Fischer, J. Modersitzki, and B. A. Wandell, "Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex," J Vis, vol. 3, pp. 586-598, 2003.
- 17) J. W. Roby, J. H. Gao, and P. T. Fox, "A versatile, low-cost method for presenting visual stimuli during MRI," J Magn Reson Imaging, vol. 11, pp. 223-227, 2000.
- 18) P. Dechent and J. Frahm, "Characterization of the human visual V6 complex by functional magnetic resonance imaging," Eur J Neurosci, vol. 17, pp. 2201-2211, 2003.
- 19) F. W. Cornelissen, D. G. Pelli, B. Farell, S. C. Huckins, and N. M. Szeverenyi, "A binocular fiberscope for presenting visual stimuli during fMRI," Spat Vis, vol. 11, pp. 75-81, 1997.
- 20) A. A. Brewer, W. A. Press, N. K. Logothetis, and B. A. Wandell, "Visual areas in macaque cortex measured using functional magnetic resonance imaging," J Neurosci, vol. 22, pp. 10416-10426, 2002.
- 21) R. O. Duncan and G. M. Boynton, "Cortical magnification within human primary visual cortex correlates with acuity thresholds," Neuron, vol. 38, pp. 659-671, 2003.
- 22) S. A. Engel, G. H. Glover, and B. A. Wandell, "Retinotopic organization in human visual cortex and the spatial precision of functional MRI," Cereb Cortex, vol. 7, pp. 181-192, 1997.
- 23) R. B. Tootell, J. D. Mendola, N. K. Hadjikhani, P. J. Ledden, A. K. Liu, J. B. Reppas, M. I. Sereno, and A. M. Dale, "Functional analysis of V3A and related areas in human visual cortex," J Neurosci, vol. 17, pp. 7060-7078, 1997.
- 24) D. L. Adams and J. C. Horton, "A precise retinotopic map of primate striate cortex generated from the representation of angioscotomas," J Neurosci, vol. 23, pp. 3771-3789, 2003.
- 25) K. Cheng, H. Fujita, I. Kanno, S. Miura, and K. Tanaka, "Human cortical regions activated by wide-field visual motion: an H2(15)O PET study," J Neurophysiol, vol. 74, pp. 413-427, 1995.
- 26) S. Pitzalis, C. Galletti, R. S. Huang, F. Patria, G. Committeri, G. Galati, P. Fattori, and M. I. Sereno, "Wide-field retinotopy defines human cortical visual area v6," J Neurosci, vol. 26, pp.

7962-7973, 2006.

- 27) L. Stenbacka and S. Vanni, "Central luminance flicker can activate peripheral retinotopic representation," *Neuroimage*, vol. 34, pp. 342-348, 2007.
- 28) R. Goebel, D. Khorram-Sefat, L. Muckli, H. Hacker, and W. Singer, "The constructive nature of vision: direct evidence from functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery," *Eur J Neurosci*, vol. 10, pp. 1563-1573, 1999

非売品

中心・周辺視野の脳部位の同定と交通安全への
適用に関する研究
報 告 書

発行日 平成 19 年 6 月

発行所 財団法人 国際交通安全学会

東京都中央区八重洲 2-6-20 〒104-0028

電話/03(3273)7884 FAX/03(3272)7054

許可なく転載を禁じます。