

フラットパネルディテクタ搭載デジタルマンモグラフィから 乳腺含有率及び平均乳腺線量を推定し 患者に通知する取り組み

斉藤 浩征¹⁾ 石藏 麻里¹⁾ 牧 直子¹⁾
波平 辰法¹⁾ 田村 彰久²⁾ 門前 芳夫³⁾
野間 翠⁴⁾ 松浦 一生⁴⁾

I. はじめに

北米では、マンモグラフィ受診者に乳腺濃度を通知する法令化が進められている。また、日本乳癌学会乳癌診療ガイドラインでは「マンモグラフィの高濃度乳腺では乳がんリスクが増加することは確実である」「年齢やBMI (Body Mass Index) は乳腺濃度に強く影響すると同時に、乳癌発症リスクとも関連することから、乳腺濃度と乳癌発症リスクとの関連性を検討する場合には、少なくとも年齢やBMIの影響を考慮する必要がある」¹⁾ など乳腺濃度と腫瘍の検出感度、さらに乳癌の発生リスクと乳腺濃度・年齢・BMIとの関係が報告されている。しかしながら乳腺濃度は視覚評価によって推定されているため評価者によってばらつきが生じているのが現状である。

また、マンモグラフィの撮影用X線は高いコントラストを得るために非常に低いエネルギーを利用していることから他の撮影よりも被曝線量が高くなっている。マンモグラフィの被曝線量は表面線量よりも乳腺線量が問題となるため平均乳腺線量によって評価されている。米国放射線専門医会は、1方向あたり3mGy以下という勧告を出している。EUREF 4thEdition (the European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services)

ではPMMA (Polymethyl methacrylate) 40 mmで受入

値2.0 mGy以下、推奨値1.6 mGy以下^{2) 3)}としている。

現在、平均乳腺線量はDance法による推定が普及しているが、患者ごとの平均乳腺線量の推定には至っていない。我々は、乳腺含有率が既知のファントムを使用し、FPD (Flat Panel Detector) マンモグラフィの画像から乳腺含有率の推定・乳房の構成の分類、さらに平均乳腺線量の推定を行う方法を開発した。得られた推定結果をレポート印刷し、患者に提供する取り組みを行なっている。また、これまで得られたデータから乳腺含有率・年齢・BMIの関係など各種分析を行ったので報告する。

II. 方 法

II-1 【乳腺含有率及び乳房の構成分類の推定】

乳腺含有率を推定していくためには、撮影条件毎に乳腺含有率と圧迫乳房厚に対応した画素値のルックアップテーブル (以後LUT) が必要となる。FPD マンモグラフィ (撮影装置: GE製 senographe DS acquisition system) のRAWデータにおける画素値はmAs値に比例し、X線透過線量は物質の厚さによって指数関数的に減少する。また、X線透過線量は乳腺含有率の増加によって指数関数的に減少する。(筋肉量の割合の増加によってX線は指数関数的に減弱している⁵⁾ ことから、乳腺量の割合の増加によっても指数関数的に減少すると判断した。) 以上のX線と物質との相互作用を利用しLUTの作成を行った。

撮影管電圧 (25kv～32kv)・一定の撮影電流・ターゲット (Mo・Rh)・フィルタ (Mo・Rh) の組み合わせによる撮影条件 (これまでのマンモグラフィにおい

1) 県立広島病院 放射線診断科
2) 広島市民病院 放射線科
3) 佐世保市総合医療センター
4) 県立広島病院 乳腺外科

て使用していない組み合わせについては除外した)において、乳腺含有率の異なる5種類のファントム(ファントム:イーステック製プレスト・ファントム・システム・012A型 乳腺含有率0% 30% 50% 70% 100%の組み合わせによりそれぞれの乳腺含有率のファントムを5mmから70mmまでを5mm増分でシミュレーションすることができる。)を、20mmから70mmまでを5mm増分で撮影した(図1)。画像から同一領域(図2)の画素値を計測し(ヒール効果の影響を最小限にするために計測領域を広げた。)撮影条件ごとに乳腺含有率とファントム厚に対応した表(表1 使用ソフト:マイクロソフト エクセル)を作成した。マンモグラフィ撮影後、管電圧・ターゲット・フィルタをエクセルシートに入力することによって、撮影条件に一致した表1を抽出し、画素値を指数近似しファントム厚1mm単位、乳腺含有率1%単位でLUTを作成した。(表2)

画素値の計測はMLO画像を使用し、乳房外周から圧迫乳房厚の1/2までの圧迫されていない領域、大胸筋、腋窩及び下部の脂肪領域を外した乳腺領域とLUTの修正を行うため、腋窩の脂肪領域・高濃度乳腺領域の3領域の計測を行った(図3)。

マンモグラフィは自動露出撮影を行っているためmAs値は撮影ごとに違っている。マンモグラフィの画素値は次の式によって補正した。

$$\text{式} \\ \text{画素値} \times (\text{ファントム計測時のmAs値} / \text{マンモグラフィのmAs値}) = \text{補正画素値}$$

ファントムと人体の脂肪・乳腺の画素値は必ずしも一致しないためLUTの修正を行った。LUT(表2)から患者の圧迫乳房厚に等しい列を抽出し腋窩の脂肪領域の画素値が乳腺含有率0%の値よりも高い場合、腋窩の値を乳腺含有率0%とし乳腺含有率0~50%の内挿値を再計算し修正した。

また、高濃度部位の画素値がLUTの乳腺含有率100%の値よりも低い場合、高濃度領域の値を乳腺含有率100%とし乳腺含有率50%~100%の内挿値を再計算し修正した。

LUT修正後、圧迫乳房厚とファントム厚が同一の列から補正画素値にもっとも近い値を検索することで患

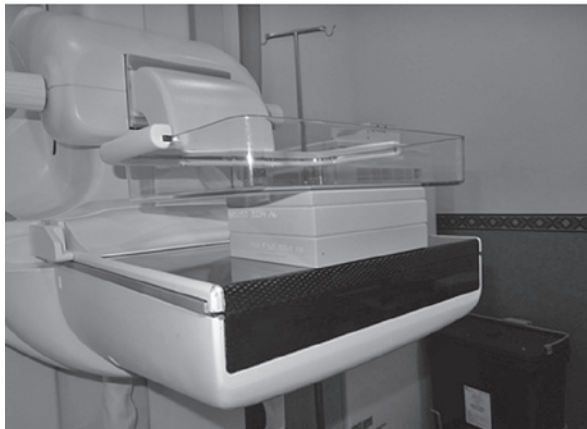


図1 ファントム撮影

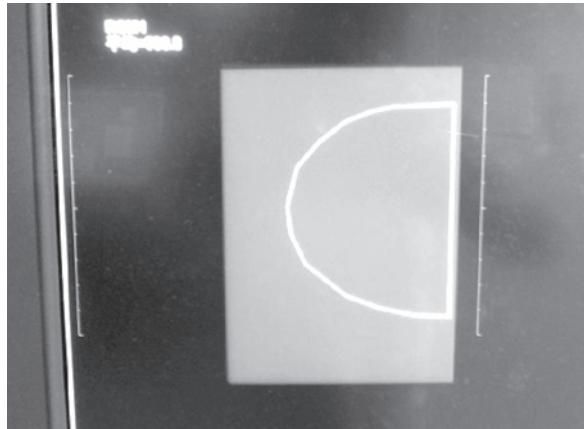


図2 ファントム画素値計測領域

表1 ファントムによる画素値の測定(撮影条件毎に表を作成)

電圧	27kv	電流	80mAs								
ターゲット	Mo	フィルタ	Rh								
乳腺含有率	ファントム厚										
	20mm	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm	50mm	55mm	60mm	65mm	70mm
100%	3292	2193	1460	994	678	476	331	235	167	121	88
70%	4064	2820	1979	1398	1000	718	521	380	279	207	155
50%	4601	3248	2364	1693	1245	904	666	501	376	282	212
30%	5182	3800	2794	2071	1544	1143	866	648	498	382	291
0%	6062	4562	3494	2652	2042	1568	1222	941	736	574	447

表2 指数近似による画素値のLUT

乳腺含有率	ファントム厚(mm)									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
100%	3292	3035	2798	2580	2378	2193	2021	1863	1714	1571
99%	3315	3057	2819	2600	2398	2211	2039	1880	1731	1588
98%	3339	3080	2841	2621	2417	2230	2057	1898	1749	1606
97%	3362	3102	2862	2641	2437	2249	2075	1915	1766	1623
96%	3386	3125	2884	2662	2457	2268	2093	1932	1783	1640
95%	3410	3148	2906	2683	2477	2287	2112	1950	1801	1663
94%	3434	3171	2928	2704	2497	2306	2130	1968	1819	1685
93%	3458	3194	2950	2725	2517	2325	2149	1986	1837	1707
92%	3482	3218	2973	2747	2538	2345	2168	2004	1855	1729
91%	3507	3241	2995	2768	2559	2365	2187	2022	1873	1751
90%	3532	3265	3018	2790	2579	2385	2206	2041	1891	1773
89%	3557	3289	3041	2812	2600	2405	2225	2059	1909	1795
88%	3581	3312	3063	2833	2620	2424	2243	2077	1927	1817
87%	3605	3335	3085	2854	2641	2444	2262	2095	1945	1839
86%	3629	3358	3107	2875	2662	2464	2280	2113	1963	1861
85%	3653	3381	3129	2896	2683	2484	2299	2131	1981	1883
84%	3677	3404	3151	2917	2704	2504	2317	2149	2000	1905
83%	3701	3427	3173	2938	2725	2524	2336	2167	2018	1927
82%	3725	3450	3195	2959	2746	2544	2354	2185	2036	1949
81%	3749	3473	3217	2980	2767	2564	2373	2203	2054	1971
80%	3773	3496	3239	3001	2788	2584	2391	2221	2072	1993
79%	3797	3519	3261	3022	2809	2604	2410	2239	2090	2015
78%	3821	3542	3283	3043	2830	2624	2428	2257	2108	2037
77%	3845	3565	3305	3064	2851	2644	2447	2275	2126	2059
76%	3869	3588	3327	3085	2872	2664	2465	2293	2144	2081
75%	3893	3611	3349	3106	2893	2684	2484	2311	2162	2103
74%	3917	3634	3371	3127	2914	2704	2502	2329	2180	2125
73%	3941	3657	3393	3148	2935	2724	2521	2347	2198	2147
72%	3965	3680	3415	3169	2956	2744	2540	2365	2216	2169
71%	3989	3703	3437	3190	2977	2764	2559	2383	2234	2191
70%	4013	3726	3459	3211	2998	2784	2578	2401	2252	2213
69%	4037	3749	3481	3232	3019	2804	2597	2419	2270	2235
68%	4061	3772	3503	3253	3040	2824	2616	2437	2288	2257
67%	4085	3795	3525	3274	3061	2844	2635	2455	2306	2279
66%	4109	3818	3547	3295	3082	2864	2654	2473	2324	2301
65%	4133	3841	3569	3316	3103	2884	2673	2491	2342	2323
64%	4157	3864	3591	3337	3124	2904	2692	2509	2360	2345
63%	4181	3887	3613	3358	3145	2924	2711	2527	2378	2367
62%	4205	3910	3635	3379	3166	2944	2730	2545	2396	2389
61%	4229	3933	3657	3400	3187	2964	2749	2563	2414	2411
60%	4253	3956	3679	3421	3208	2984	2768	2581	2432	2433
59%	4277	3979	3701	3442	3229	3004	2787	2600	2450	2455
58%	4301	4002	3723	3463	3250	3024	2806	2618	2468	2477
57%	4325	4025	3745	3484	3271	3044	2825	2636	2486	2499
56%	4349	4048	3767	3505	3292	3064	2844	2655	2504	2521
55%	4373	4071	3789	3526	3313	3084	2863	2673	2522	2543
54%	4397	4094	3811	3547	3334	3104	2883	2691	2540	2565
53%	4421	4117	3833	3568	3355	3124	2902	2710	2558	2587
52%	4445	4140	3855	3589	3376	3144	2921	2728	2576	2609
51%	4469	4163	3877	3610	3397	3164	2940	2747	2594	2631
50%	4493	4186	3899	3631	3418	3184	2960	2765	2612	2653
49%	4517	4209	3921	3652	3439	3204	2979	2783	2630	2675
48%	4541	4232	3943	3673	3460	3224	2998	2802	2648	2697
47%	4565	4255	3965	3694	3481	3244	3017	2820	2666	2719
46%	4589	4278	3987	3715	3502	3264	3036	2839	2684	2741
45%	4613	4301	4009	3736	3523	3284	3055	2857	2702	2763
44%	4637	4324	4031	3757	3544	3304	3074	2876	2720	2785
43%	4661	4347	4053	3778	3565	3324	3093	2894	2738	2807
42%	4685	4370	4075	3799	3586	3344	3112	2913	2756	2829
41%	4709	4393	4097	3820	3607	3364	3131	2931	2774	2851
40%	4733	4416	4119	3841	3628	3384	3150	2950	2792	2873
39%	4757	4439	4141	3862	3649	3404	3169	2968	2810	2895
38%	4781	4462	4163	3883	3670	3424	3188	2987	2828	2917
37%	4805	4485	4185	3904	3691	3444	3207	3005	2846	2939
36%	4829	4508	4207	3925	3712	3464	3226	3024	2864	2961
35%	4853	4531	4229	3946	3733	3484	3245	3042	2882	2983
34%	4877	4554	4251	3967	3754	3504	3264	3061	2900	3005
33%	4901	4577	4273	3988	3775	3524	3283	3079	2918	3027
32%	4925	4600	4295	4009	3796	3544	3302	3098	2936	3049
31%	4949	4623	4317	4030	3817	3564	3321	3116	2954	3071
30%	4973	4646	4339	4051	3838	3584	3340	3135	2972	3093
29%	4997	4669	4361	4072	3859	3604	3359	3153	2990	3115
28%	5021	4692	4383	4093	3880	3624	3378	3172	3008	3137
27%	5045	4715	4405	4114	3901	3644	3397	3190	3026	3159
26%	5069	4738	4427	4135	3922	3664	3416	3209	3044	3181
25%	5093	4761	4449	4156	3943	3684	3435	3227	3062	3203
24%	5117	4784	4471	4177	3964	3704	3454	3246	3080	3225
23%	5141	4807	4493	4198	3985	3724	3473	3264	3098	3247
22%	5165	4830	4515	4219	4006	3744	3492	3283	3116	3269
21%	5189	4853	4537	4240	4027	3764	3511	3301	3134	3291
20%	5213	4876	4559	4261	4048	3784	3530	3320	3152	3313
19%	5237	4899	4581	4282	4069	3804	3549	3338	3170	3335
18%	5261	4922	4603	4303	4090	3824	3568	3357	3188	3357
17%	5285	4945	4625	4324	4111	3844	3587	3375	3206	3379
16%	5309	4968	4647	4345	4132	3864	3606	3394	3224	3401
15%	5333	4991	4669	4366	4153	3884	3625	3412	3242	3423
14%	5357	5014	4691	4387	4174	3904	3644	3431	3260	3445
13%	5381	5037	4713	4408	4195	3924	3663	3449	3278	3467
12%	5405	5060	4735	4429	4216	3944	3682	3468	3296	3489
11%	5429	5083	4757	4450	4237	3964	3701	3486	3314	3511
10%	5453	5106	4779	4471	4258	3984	3720	3505	3332	3533
9%	5477	5129	4801	4492	4279	4004	3739	3523	3350	3555
8%	5501	5152	4823	4513	4300	4024	3758	3542	3368	3577
7%	5525	5175	4845	4534	4321	4044	3777	3560	3386	3599
6%	5549	5198	4867	4555	4342	4064	3796	3579	3404	3621
5%	5573	5221	4889	4576	4363	4084	3815	3597	3422	3643
4%	5597	5244	4911	4597	4384	4104	3834	3616	3440	3665
3%	5621	5267	4933	4618	4405	4124	3853	3634	3458	3687
2%	5645	5290	4955	4639	4426	4144	3872	3653	3476	3709
1%	5669	5313	4977	4660	4447	4164	3891	3671	3494	3731
0%	5693	5336	4999	4681	4468	4184	3910	3690	3512	3753

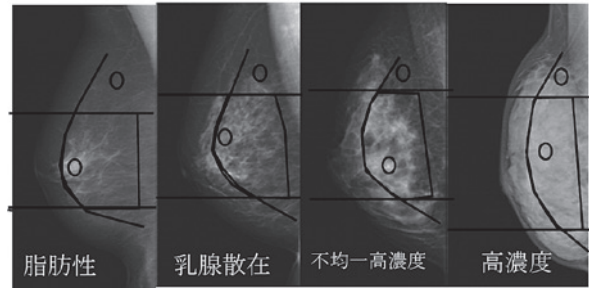


図3 計測領域 画像提供：NPO法人 乳がん画像診断ネットワーク

表3 乳房の構成分類境界の設定

乳腺含有率	乳房の構成分類
9%以下	脂肪性
10%～39%	乳腺散在
40%～79%	不均一高濃度
80%以上	高濃度

者の乳腺含有率を推定した。
 推定された乳腺含有率は境界値（表3）を設定し脂肪性・乳腺散在・不均一高濃度・高濃度に分類を行った。境界値は平成25年7月11日NPO法人マンモグラフィ検診精度管理中央機構（精中機構）：「乳房の構成の分類に関するお知らせ」⁶⁾を参考にした。

II-2 【平均乳腺線量の推定】

ファントムを10mm増分で撮影し透過線量表を作成し、mAs値や測定位置補正をすることで患者の圧迫乳房厚と一致した深部線量表に変換した。さらに乳腺含有率に一致した減弱式を算出し、この式を定積分することで平均乳腺線量の推定を行った。

検出器（線量計：Radical社 model 9015型線量計）の中心を照射野の左右の中心、胸壁側から6cmの位置に固定した。（図4）
 検出器の厚さが27mmあるため、左右に使用しないファントムで高さ30mmの台座を作りファントムを乗せ計測を行った。（図5）
 撮影管電圧(25kv～32kv)・ターゲット(Mo・Rh)・フィルタ(Mo・Rh)の組み合わせによる撮影条件において（マンモグラフィにおいて使用していない組み合わせについては除外した）乳腺含有率30% 50% 70%のファントムをそれぞれ、5mmと10mmから70mmまでを10mm間隔で一定のmAs値（100mAs）にて撮影し透過線量を測定した。（表4）

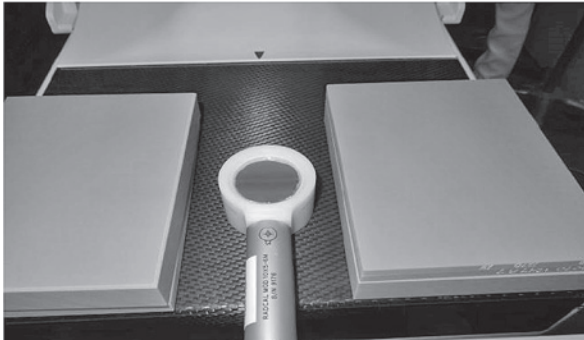


図4 線量計の配置

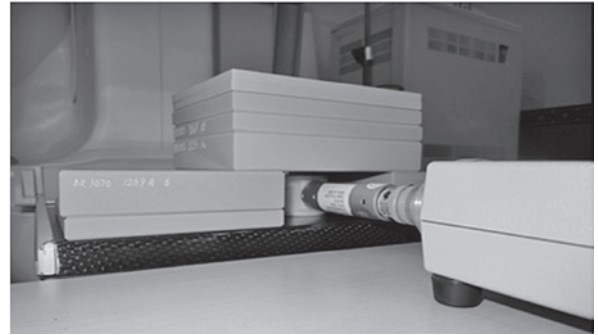


図5 台座の配置

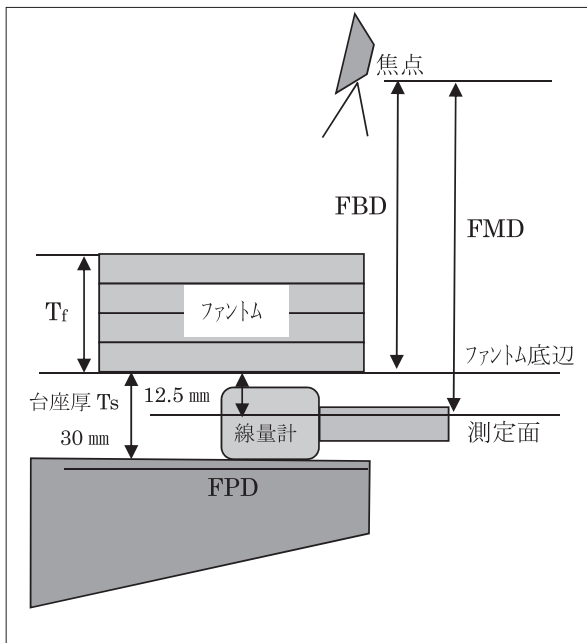


図6 ファントムと線量計の配置

表4 透過線量表 (mGy) (撮影条件毎に表を作成)

電圧	27kv	電流	100mAs					
ターゲット	Mo	フィルタ	Rh					
乳腺含有率	ファントム厚							
	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	60mm	70mm
70%	5.662	3.742	1.856	0.978	0.542	0.310	0.183	0.089
50%	5.874	4.042	2.085	1.148	0.656	0.380	0.232	0.139
30%	6.138	4.330	2.363	1.351	0.806	0.488	0.302	0.189

表4の透過線量表のmAs値と焦点測定面距離(FMD)(図6)は一定であるため、マンモグラフィからの推定時には撮影管電圧・ターゲット・フィルタが同一の表を抽出し、次の補正係数を乗じることで撮影条件と圧迫乳房厚に合った深部線量表に変換した。

表5 乳腺含有率別の深部線量表 (mGy)

乳腺含有率	入射表面からの深部距離							
	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	60mm	70mm
100%	2.972	1.818	0.822	0.393	0.201	0.109	0.059	0.020
99%	2.978	1.825	0.827	0.396	0.203	0.110	0.060	0.021
98%	2.983	1.832	0.832	0.399	0.205	0.112	0.061	0.021
97%	2.989	1.839	0.837	0.402	0.207	0.113	0.061	0.022
96%	2.994	1.846	0.842	0.405	0.209	0.114	0.062	0.022
95%	3.000	1.854	0.847	0.409	0.211	0.115	0.063	0.023
94%	3.005	1.861	0.852	0.412	0.213	0.116	0.064	0.023
93%	3.011	1.868	0.857	0.415	0.215	0.117	0.064	0.024
92%	3.016	1.875	0.862	0.419	0.217	0.119	0.065	0.024
91%	3.022	1.882	0.867	0.422	0.219	0.120	0.066	0.025
90%	3.027	1.890	0.872	0.425	0.221	0.121	0.067	0.025
89%	3.033	1.897	0.877	0.429	0.223	0.122	0.068	0.026
88%	3.039	1.904	0.882	0.432	0.225	0.124	0.068	0.027
87%	3.044	1.912	0.887	0.436	0.227	0.125	0.069	0.027
86%	3.050	1.920	0.892	0.440	0.230	0.126	0.070	0.028
85%	3.056	1.928	0.897	0.444	0.233	0.128	0.071	0.029
84%	3.062	1.936	0.902	0.448	0.236	0.130	0.072	0.030
83%	3.068	1.944	0.907	0.452	0.239	0.132	0.073	0.031
82%	3.074	1.952	0.912	0.456	0.242	0.134	0.074	0.032
81%	3.080	1.960	0.917	0.460	0.245	0.136	0.075	0.033
80%	3.086	1.968	0.922	0.464	0.248	0.138	0.076	0.034
79%	3.092	1.976	0.927	0.468	0.251	0.140	0.077	0.035
78%	3.098	1.984	0.932	0.472	0.254	0.142	0.078	0.036
77%	3.104	1.992	0.937	0.476	0.257	0.144	0.079	0.037
76%	3.110	2.000	0.942	0.480	0.260	0.146	0.080	0.038
75%	3.116	2.008	0.947	0.484	0.263	0.148	0.081	0.039
74%	3.122	2.016	0.952	0.488	0.266	0.150	0.082	0.040
73%	3.128	2.024	0.957	0.492	0.269	0.152	0.083	0.041
72%	3.134	2.032	0.962	0.496	0.272	0.154	0.084	0.042
71%	3.140	2.040	0.967	0.500	0.275	0.156	0.085	0.043
70%	3.146	2.048	0.972	0.504	0.278	0.158	0.086	0.044
69%	3.152	2.056	0.977	0.508	0.281	0.160	0.087	0.045
68%	3.158	2.064	0.982	0.512	0.284	0.162	0.088	0.046
67%	3.164	2.072	0.987	0.516	0.287	0.164	0.089	0.047
66%	3.170	2.080	0.992	0.520	0.290	0.166	0.090	0.048
65%	3.176	2.088	0.997	0.524	0.293	0.168	0.091	0.049
64%	3.182	2.096	1.002	0.528	0.296	0.170	0.092	0.050
63%	3.188	2.104	1.007	0.532	0.299	0.172	0.093	0.051
62%	3.194	2.112	1.012	0.536	0.302	0.174	0.094	0.052
61%	3.200	2.120	1.017	0.540	0.305	0.176	0.095	0.053
60%	3.206	2.128	1.022	0.544	0.308	0.178	0.096	0.054
59%	3.212	2.136	1.027	0.548	0.311	0.180	0.097	0.055
58%	3.218	2.144	1.032	0.552	0.314	0.182	0.098	0.056
57%	3.224	2.152	1.037	0.556	0.317	0.184	0.099	0.057
56%	3.230	2.160	1.042	0.560	0.320	0.186	0.100	0.058
55%	3.236	2.168	1.047	0.564	0.323	0.188	0.101	0.059
54%	3.242	2.176	1.052	0.568	0.326	0.190	0.102	0.060
53%	3.248	2.184	1.057	0.572	0.329	0.192	0.103	0.061
52%	3.254	2.192	1.062	0.576	0.332	0.194	0.104	0.062
51%	3.260	2.200	1.067	0.580	0.335	0.196	0.105	0.063
50%	3.266	2.208	1.072	0.584	0.338	0.198	0.106	0.064
49%	3.272	2.216	1.077	0.588	0.341	0.200	0.107	0.065
48%	3.278	2.224	1.082	0.592	0.344	0.202	0.108	0.066
47%	3.284	2.232	1.087	0.596	0.347	0.204	0.109	0.067
46%	3.290	2.240	1.092	0.600	0.350	0.206	0.110	0.068
45%	3.296	2.248	1.097	0.604	0.353	0.208	0.111	0.069
44%	3.302	2.256	1.102	0.608	0.356	0.210	0.112	0.070
43%	3.308	2.264	1.107	0.612	0.359	0.212	0.113	0.071
42%	3.314	2.272	1.112	0.616	0.362	0.214	0.114	0.072
41%	3.320	2.280	1.117	0.620	0.365	0.216	0.115	0.073
40%	3.326	2.288	1.122	0.624	0.368	0.218	0.116	0.074
39%	3.332	2.296	1.127	0.628	0.371	0.220	0.117	0.075
38%	3.338	2.304	1.132	0.632	0.374	0.222	0.118	0.076
37%	3.344	2.312	1.137	0.636	0.377	0.224	0.119	0.077
36%	3.350	2.320	1.142	0.640	0.380	0.226	0.120	0.078
35%	3.356	2.328	1.147	0.644	0.383	0.228	0.121	0.079
34%	3.362	2.336	1.152	0.648	0.386	0.230	0.122	0.080
33%	3.368	2.344	1.157	0.652	0.389	0.232	0.123	0.081
32%	3.374	2.352	1.162	0.656	0.392	0.234	0.124	0.082
31%	3.380	2.360	1.167	0.660	0.395	0.236	0.125	0.083
30%	3.386	2.368	1.172	0.664	0.398	0.238	0.126	0.084

$$mAsCF = M G m A s / F m A s \quad \dots (1)$$

$$M D C F = (F M D / F B D) ^ 2 \quad \dots (2)$$

$$D P C F = (F B D / (F B D - (T_{pb} - T_s - T_f))) ^ 2 \quad \dots (3)$$

mAsCF : mAs値補正係数

MDCF : 測定点距離補正係数

DPCF : 深部位置補正係数

M G m A s : マンモグラフィ撮影時mAs値

F m A s : ファントム撮影時mAs値

F M D : 焦点測定面距離

F B D : 焦点ファントム底辺距離

T_{pb} : 圧迫乳房厚

T_s : 台座厚

T_f : ファントム厚

※焦点・測定面間距離 (FMD) = 622.5 mm

焦点・ファントム底辺間距離 (FBD) = 610 mm

台座厚 (T_s) = 30 mm

天板・測定面距離 = 17.5 mm

ファントム底辺測定面距離12.5 mm

- (1) ファントム測定時のmAs値 (FmAs) とマンモグラフィ撮影時のmAs値 (MGmAs) が異なるため、透過線量表に乗ずることで撮影時の線量に変換する。
- (2) 測定線量をファントムの底辺での線量に変換するため。ファントムの底辺と測定面と差12.5 mmを距離の逆二乗則に従って補正する。
- (3) ファントムの底辺が天板から30 mm上方であるため、圧迫乳房入射表面からの深部位置での線量になるよう距離の逆二乗則に従って補正する。

補正係数によって変換された表を、指数近似にて乳腺含有率1%毎の深部線量表(表5)を作成した。

X線は連続エネルギーであることから入射表面に近い領域では低エネルギー成分が多く、実測値と近似値のずれが大きくなるため、推定された乳腺含有率に一致した深部線量から、10 mm以下と10 mm以上でそれぞれ近似式(減弱式)を算出し、両近似式を定積分した和を圧迫乳房厚aで除することで平均乳腺線量を求めた。

平均乳腺線量 (mGy)

$$= \frac{\int_0^{10} I_1 e^{-\mu_{en1} x} dx + \int_{10}^a I_2 e^{-\mu_{en2} x} dx}{a}$$

I_1 : 10 mm 以下での切片

I_2 : 10 mm 以上での切片

μ_{en1} : 10 mm 以下でのエネルギー吸収係数

μ_{en2} : 10 mm 以上でのエネルギー吸収係数

圧迫乳房厚について本来はノギスなどで正確に測定すべきであるが、時間を要し患者への負担が大きいため装置の表示値を使っている。そのため表示値と実測値との誤差を補正する必要がある。

日常点検において、ファントムの撮影時に圧迫厚のズレが生じた場合、20 mm 40 mm 60 mmのファントム厚とのズレを確認後補正している。

エックス線出力やFPDの感度変化に対応するため、

日常点検において、ファントムの乳腺含有率を計測し誤差3%を超えた場合補正を行うこととしている。乳腺含有率50% 40 mmのファントムをターゲットとフィルタの組み合わせMo/Mo Mo/Rh Rh/Rhでそれぞれ一定の条件にて撮影し基準日と校正日の画素値の比を計測領域画素値に乗ずることで補正を行っている。

$$\frac{\text{基準日値}}{\text{校正日値}} \times \text{計測領域ピクセル値}$$

推定結果は撮影終了後、患者に提供できるよう患者情報・撮影条件や画素値をエクセルシートに入力することで自動的にレポート印刷し、各種分析ができるようデータベース保存するようにプログラムを開発した。

Ⅲ. 結 果

Ⅲ-1 乳腺含有率の推定

乳腺含有率が既知のファントムを利用し、マンモグラフィから乳腺含有率及び乳房の構成分類の客観的な分類を推定することができた。

ファントムにて乳腺含有率の検証を行ったところ誤差±3%以内となった。

2015年9月～2016年2月に当院にて撮影されたマンモグラフィの中から、ランダムに選んだ124症例(術後乳房は除く)を対象に、当院の読影認定医4名と撮影認定技師2名の計6名による視覚評価と推定値による分類とを比較した。読影者によるバラツキは見られたが、平均65%で一致した。(図7)

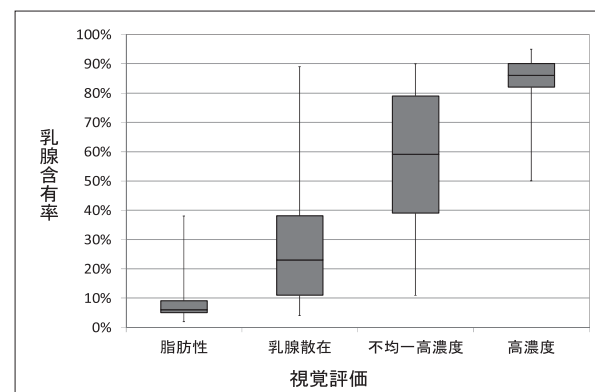


図7 乳房の構成分類(視覚評価と乳腺含有率)

Ⅲ-2 平均乳腺線量の推定

乳腺含有率の推定結果を利用することで患者毎の平均乳腺線量を推定することができた。

平均乳腺線量は50%ファントムにてDance法との比較を行った。

(本法-Dance法) / Dance法 × 100%
平均誤差5.7%最大12%であった。(表6)

表6 本法のDance法による検証

電圧	mAs	target	filter	20mm	40mm	60mm
25	100	Mo	Mo	-5%	4%	
26	100	Mo	Mo	-5%	4%	9%
26	100	Mo	Rh	-7%	3%	
27	100	Mo	Mo	-5%	5%	
27	100	Mo	Rh	-9%	1%	7%
27	100	Rh	Rh	-12%	-1%	5%
28	100	Mo	Rh		-1%	
28	100	Rh	Rh		-1%	6%
29	100	Rh	Rh		-3%	10%
30	100	Rh	Rh		-3%	4%
31	100	Rh	Rh			4%
32	100	Rh	Rh		-5%	2%

患者数	405名
件数(左右それぞれ1件)	754件
平均年齢	55.7歳
平均乳腺含有率	39.4%
平均圧迫乳房厚	41.1mm
BMI	23 kg/m ²

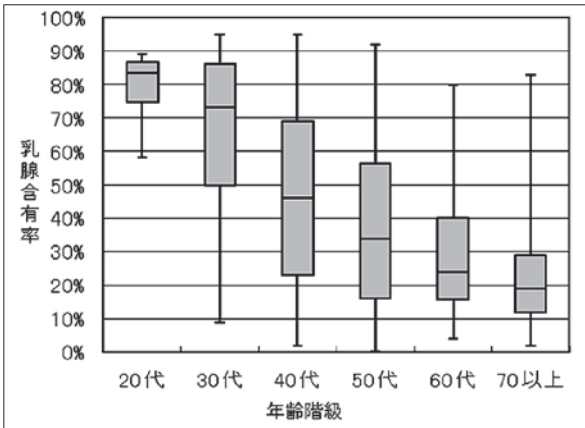


図11 年齢階級別乳腺含有率 r=0.47 p<0.001

圧迫乳房厚やX線出力・検出感度の変化に対し基準日からのズレを補正することで再現性を維持することができた。

Ⅲ-3 データ分析

当院の患者405名754件について各種分析を行った。図10は年齢階級別の件数で左右をそれぞれ1件とした。

図11は年齢階級別に乳腺含有率のバラツキを箱ひげ図に表し、相関係数を求めた。

図12は圧迫乳房厚に対する乳腺含有率を散布図によって表し、相関係数を求めた。

図13はBMI (Body Mass Index) と乳腺含有率の関係を散布図にて表し相関係数を求めた。

図14はBMIと圧迫乳房厚の関係を散布図で表し相関係数を求めた。

図15は年齢階級での乳腺の構成分類の割合を表した。

図16は管電流に対する平均乳腺線量の関係を表し相関係数を求めた。

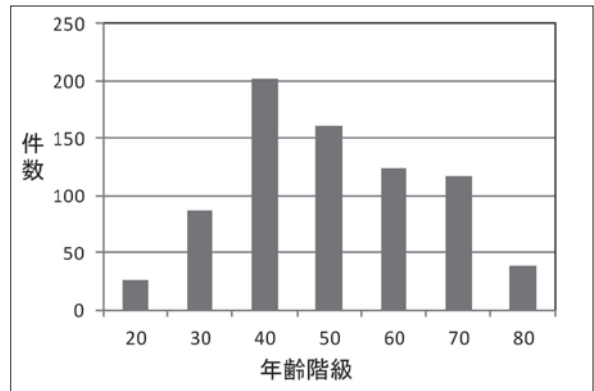


図10 年齢階級別検査件数

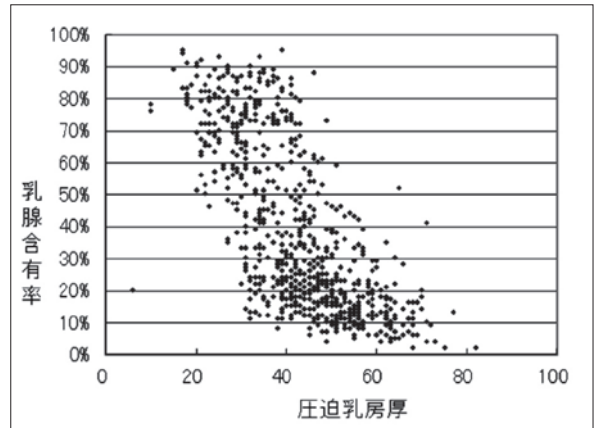


図12 圧迫乳房厚と乳腺含有率 r=0.71 p<0.001

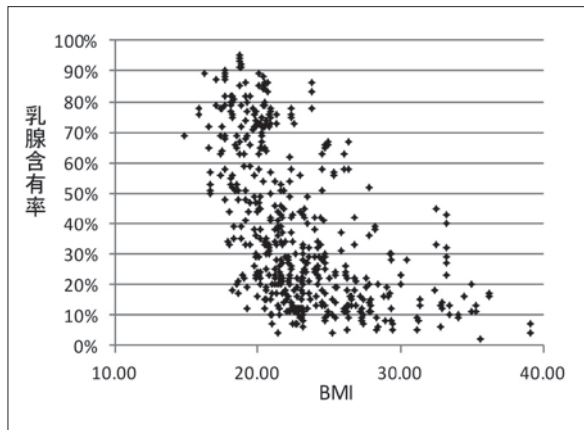


図13 BMIと乳腺含有率 $r=0.56$ $p<0.001$

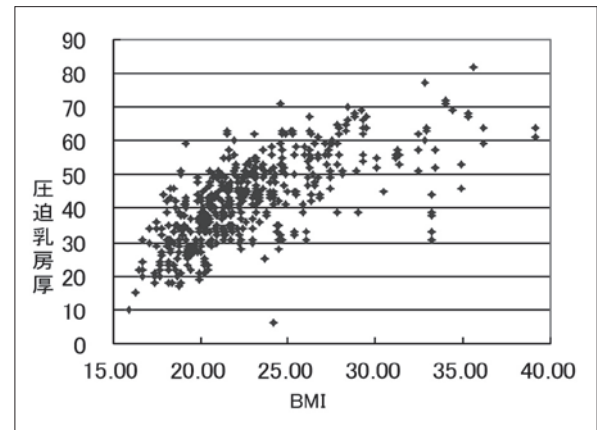


図14 BMIと圧迫乳房厚 $r=0.68$ $p<0.001$

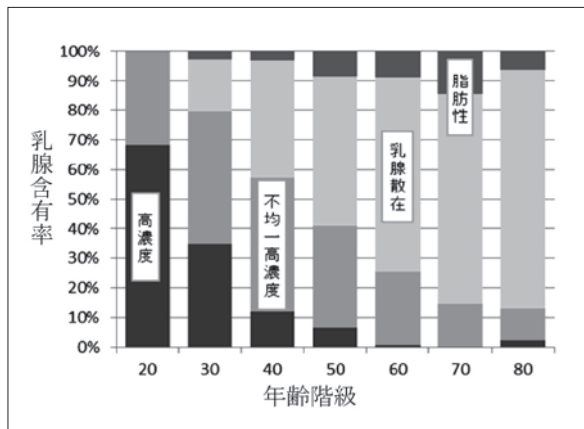


図15 年齢階級別乳腺の構成分類

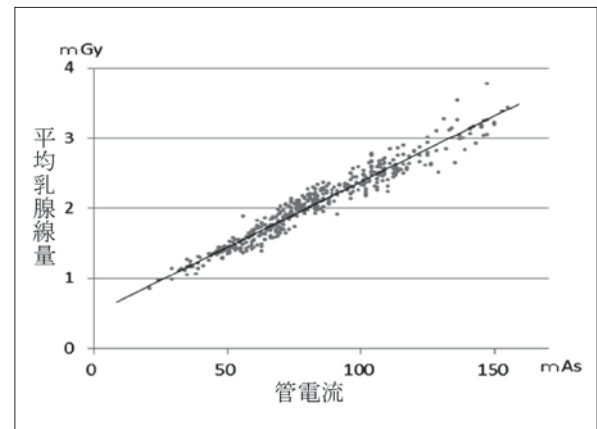


図16 管電流と平均乳腺線量 $r=0.97$ $p<0.001$

IV. 考 察

本法は含有率が既知のファントムからLUTとマンモグラフィの画素値を比較することによって乳腺含有率を推定しているが、腋下の脂肪領域及び高濃度領域の画素値からLUTを修正することより、個人差に対応した乳腺含有率を推定することができた。

本法は画素値の計測領域を手動で行っていることから、精中機構：「乳房の構成の分類に関するお知らせ」の要点で指摘のあった「乳房内ではなく、乳腺内における脂肪の割合」を忠実に再現することができ、推定値と視覚評価の一致率とも高くなっている。境界値についてもほぼ一致している。(図7)

平均乳腺線量についてDance法との比較を行ったがファントム厚20mmでは低めに60mmでは高めに40mmではほぼ一致していた。(表6) Dance法は表面線量を基に変換係数を乗ずることで算出し、本法は透過線量を

基に近似式を定積分することによって算出している。Dance法ではファントム表面では低エネルギー成分が多く含まれるX線による半価層から変換係数を算出しているが本法は低エネルギーX線がある程度吸収された後の透過線量を基準に近似式を算出していることによるものであると考えられる。(参考：筋肉+50%脂肪 密度 $0.98\text{g}/\text{cm}^3$ の半価層 10kv : 0.17cm, 15kv : 0.54cm, 20kv : 1.08cm)⁵⁾

各種分析をすることで次の結論が得られた。

図11図12から乳腺含有率は年齢(相関係数 $r=0.47$)よりも圧迫乳房厚 ($r=0.71$) との相関が強い。

図15から高年齢の受診者にも高濃度乳腺が存在することから、乳腺の構成分類の通知は全ての年齢層に必要であると考えられる。

図16から管電流と平均乳腺線量の関係で相関係数 $r=0.97$ と強い相関関係にあった。管電流120mAs以上

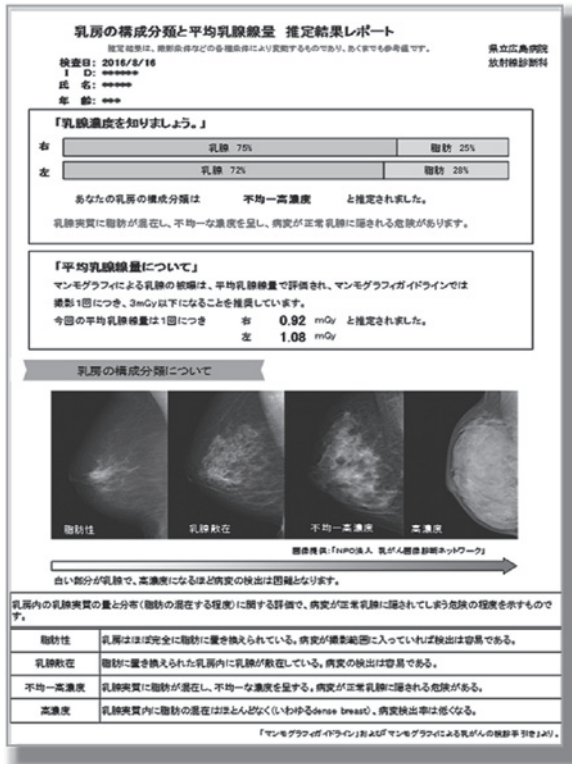


図8 患者提供用レポート

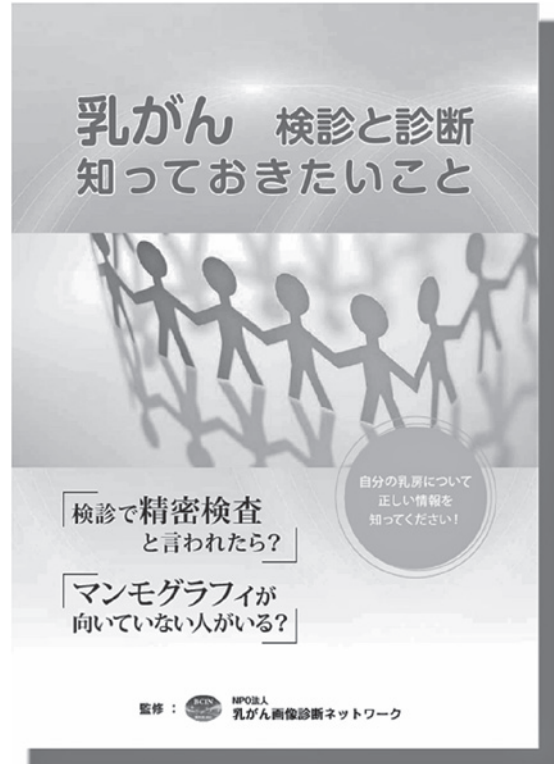


図9 患者提供用冊子⁴⁾

では3mGyを超える可能性があった。本研究後、撮影モードを変更し被曝線量を40%程度軽減化することができた。

本法の問題点としてファントムの画素値計測領域はヒール効果を考慮してマンモグラフィの計測領域を参考に計測しているが、ファントム厚は一定の厚さであるのに対し実際の乳房は胸壁側と乳頭側の乳房厚の傾きや、小乳房の表示値による誤差が乳腺含有率及び平均乳腺線量に及ぼす影響についての正確な検証ができていないことがあげられる。

V. まとめ

推定結果を患者に渡すために5分以内にレポート印刷までを終了することを目指し実現することができた。推定結果は、レポート印刷し『乳がん検診と診断の手引き』⁴⁾と一緒に患者に提供している。(図8, 図9) 本法は定量的な乳房の構成分類・被曝線量の管理・データ分析及び患者に情報提供することによって、超音波検査など他の検査への移行をスムーズに行うことや、セルフチェックの向上など臨床上有用である。

参考文献及び注釈

- 1) 乳癌診療ガイドライン. 疫学・予防 日本乳癌学会Web版
- 2) 乳癌診療ガイドライン. 検診・画像診断 日本乳癌学会Web版
- 3) 医療被ばくガイドライン改訂委員会. 中間報告書 医療被ばくガイドライン改訂「マンモグラフィ」. 日放技誌.2014; 61 (1): 119-22.
- 4) 戸崎光宏 増田美加 監修:『乳がん 検診と診断知っておきたいこと』. NPO法人乳がん画像診断ネットワーク
- 5) 城谷 孝: 人体組織と組織等価材の減弱係数. 原子力研究所
- 6) 岡崎正敏: 「乳房の構成の分類に関するお知らせ」. NPO法人マンモグラフィ検診精度管理中央委員会

Estimation of Mammary Gland Content Rate and Average Mammary Glandular Dose from Digital Mammography upon Installation of a Flat Panel Detector and the Policy for Informing Patient

Hiroyuki Saito¹⁾, Mari Ishikura¹⁾, Naoko Maki¹⁾, Tatsunori Namihira¹⁾,
Akihisa Tamura²⁾, Yoshio Monzen³⁾, Midori Noma⁴⁾, Kazuo Matsuura⁴⁾

- 1) Department of Diagnostic Radiology, Hiroshima Prefectural Hospital
- 2) Department of Radiology, Hiroshima City Hiroshima Citizens Hospital
- 3) Sasebo City General Hospital
- 4) Department of Breast Surgery, Hiroshima Prefectural Hospital

Summary

Objective

A relationship between mammary gland density and detection sensitivity and the occurrence risk of breast cancer has been reported in North America. For example, notification of the mammary gland concentration to patients is mandatory. However, currently, since it is estimated by visual evaluation, the results may vary depending on the evaluator. The exposure dose of mammary glands is evaluated according to the mean mammary glandular dose, which has not been measured for each patient. In this study, we used the linearity of the pixel values and dose (mAs value) of FPD (Flat Panel Detector) to estimate the mammary gland content rate and average mammary glandular dose from mammography images and notified patients of the results. In addition, we hereinafter report on the correlation of age/body mass index (BMI)/compression thickness of the breasts with the mammary gland content rate based on the data obtained thus far.

Methods

Mammary Gland Content Rate (0% 30% 50% 70% 100%) phantoms were used.

Estimation of mammary gland content rate: maintaining constant mAs values, we combined other photographing conditions and phantoms, shooting images in increments of 5 mm, using a table containing pixel values, and estimating the mammary gland content rate from the pixel values of the mammary gland area of the patients.

Estimation of the mean mammary glandular dose: maintaining constant mAs values, we combined other photographing conditions and phantoms, shooting images in increments of 10 mm, creating a table containing the transit dose. The mean mammary glandular dose was determined by taking the definite integral of the approximate expression of the transmit dose corresponding to the actual imaging condition and mammary gland content rate of patients from the range of thickness of the compressed breast, and divided by the thickness of the compressed breast.

Results

We were able to estimate the mammary gland content rate from the pixel value of the mammography image, classify the breast composition and estimate the mean mammary glandular dose. Comparing the visual evaluation by six certified persons and the classification results of this study, the results were closely consistent with the classification boundaries of the mammography guidelines. As a result of verifying the mammary gland content rate using phantoms, the deviation was within $\pm 3\%$. As a result of comparing the mean mammary glandular dose with the values of the Dance method, the deviation was a maximum of 12% and $\pm 5\%$ on average.

Based on an analysis of the data for 405 subjects, the correlation coefficients with the mammary gland content rate were age: 0.47, BMI: 0.56, thickness of compressed breast: 0.71.

Conclusion

In order to provide the estimation results to the patients, we were able to simplify and finish the work and print out the findings in about five minutes. Currently, reports and booklets explaining breast cancer screening are distributed free of charge. Informing patients of the concentration of mammary glands allows them to be aware of the difficulty in detecting breast cancer and the risk of developing breast cancer, improving the rate of taking medical examinations and smoothing the transition to other examinations, while making it clinically useful for improving self-checks.